

*Семинар "Математическое моделирование  
геофизических процессов: прямые и обратные  
задачи", НИВЦ МГУ, 11 октября 2012 г.*

# **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ РАДИАЦИИ**

---

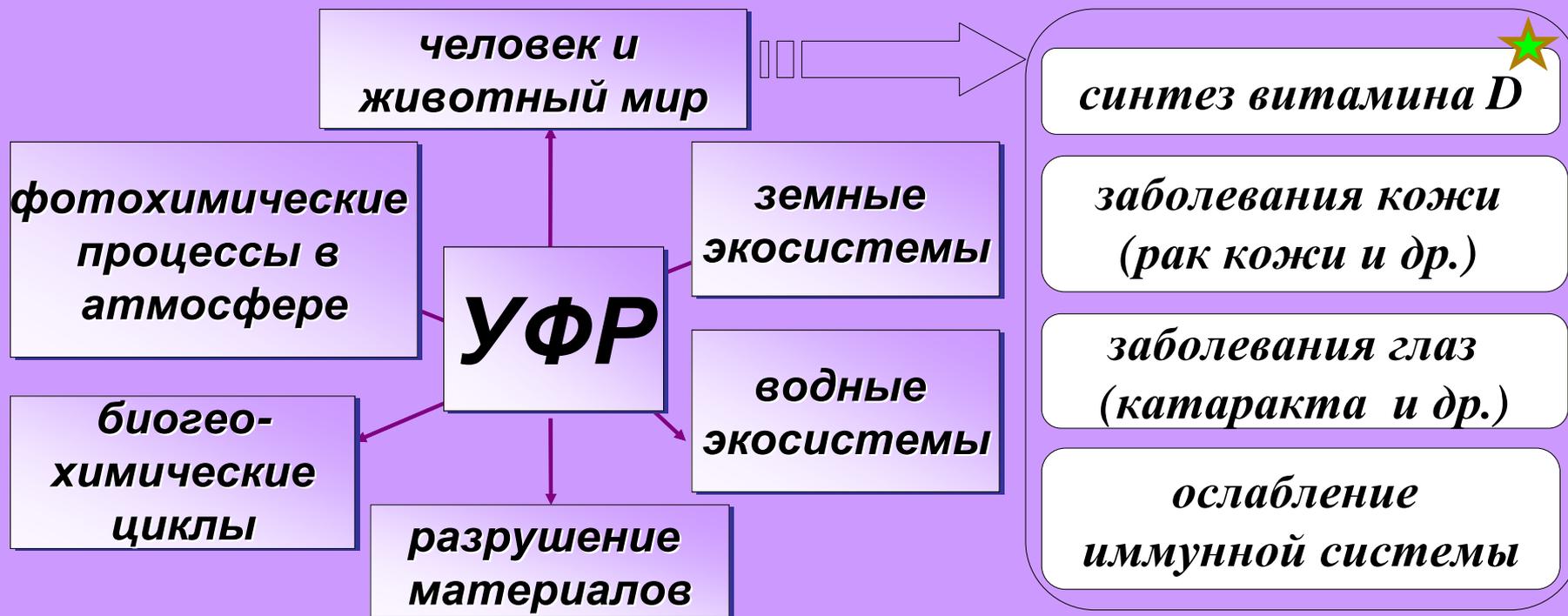
**Н.Е. Чубарова**

**Географический факультет МГУ**

# План

- Биологическое действие УФ радиации
- Методы исследования
- Атмосферные факторы, действующие на УФР
- Реконструкции УФР.
- Методика оценки ресурсов УФ радиации
- Распределение УФ ресурсов в северной Евразии.
- Тренды.

# БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ РАДИАЦИИ (УФР)



**УФР принято делить  
на три области:**

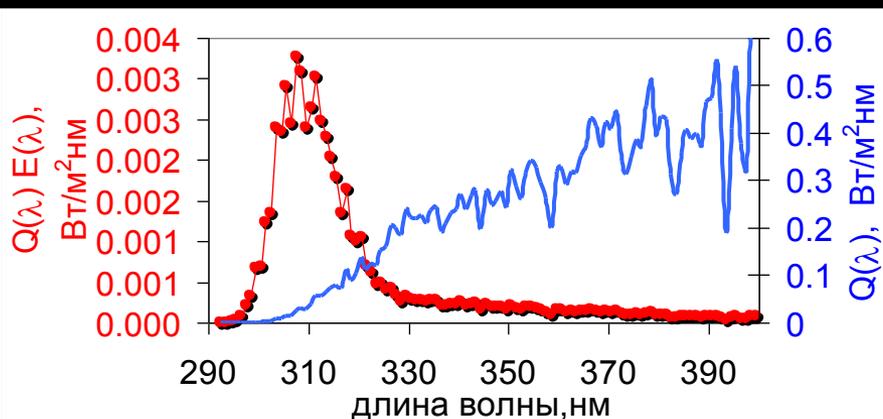
<b>УФ-С</b>	<b>&lt;280 нм</b>
<b>УФ-В</b>	<b>280 - 315 нм</b>
<b>УФ-А</b>	<b>315 - 400 нм</b>

## Биологически активная УФР определяется как:

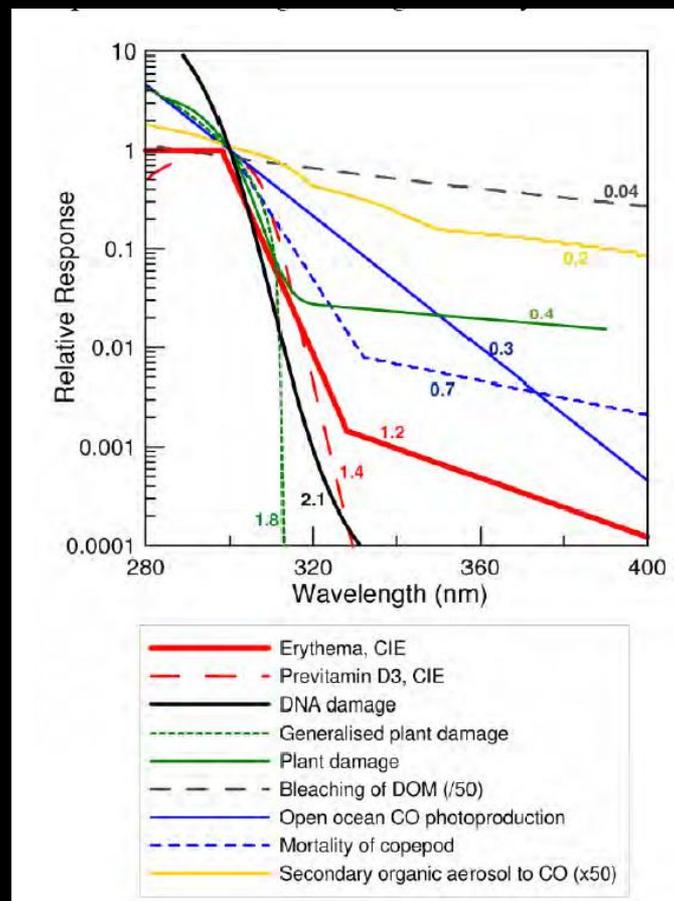
$$Qb = \int_{280}^{400} Q_{\lambda} F_{\lambda} d\lambda$$

$F_{\lambda}$  – спектральная эффективность  
биологического действия,

$Q_{\lambda}$  – спектральная энергетическая  
освещенность.



Распределения  $Q(\lambda)$  и  $Q(\lambda)E_{\lambda}(\lambda)$ .



Спектры биологического  
действия в УФ диапазоне

Расчет УФ индекса:

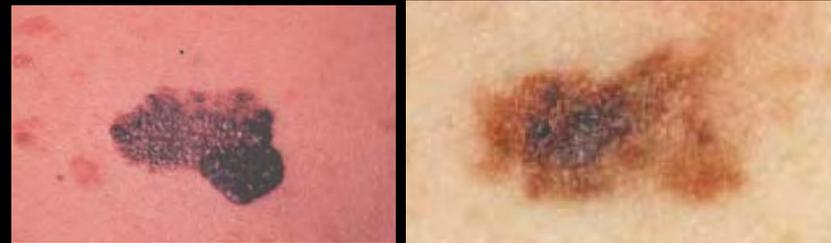
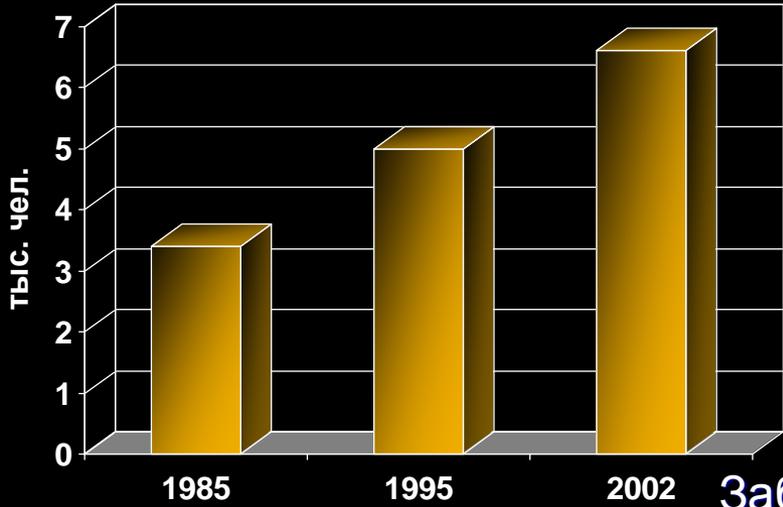
$$УФИ = Q_{er} (Вт/м^2) / 0.025$$

# Статистика по заболеванию раком кожи:

Данные онкологического центра им. Н.Н. Блохина РАМН:

## Меланома кожи :

Динамика заболеваемости меланомой кожи по  
России. ( из доклада Е.М. Аксель)

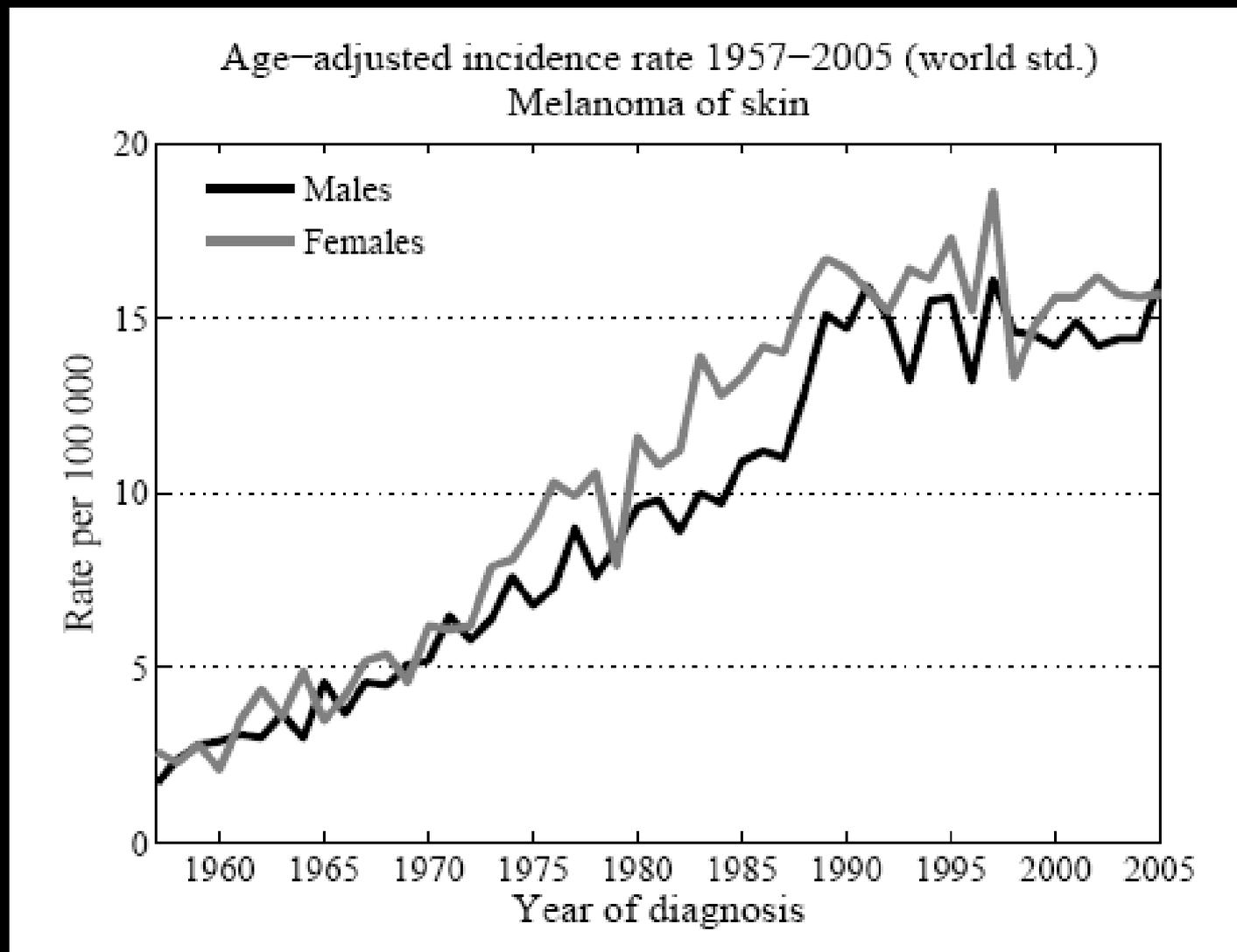


В США – рост  
4% в год с  
начала 70-х гг.

Заболеваемость мужского населения  
меланомой кожи в странах мира.

<0.5 ‰/0000	8-14 ‰/0000	36-40 ‰/0000
Китай, Корея, Япония, Вьетнам, Таиланд, Пакистан	Дания, Норвегия Швеция. Австрия, Нидерланды, Канада, США, Израиль, Словения, Ирландия	Австралия, Новая Зеландия

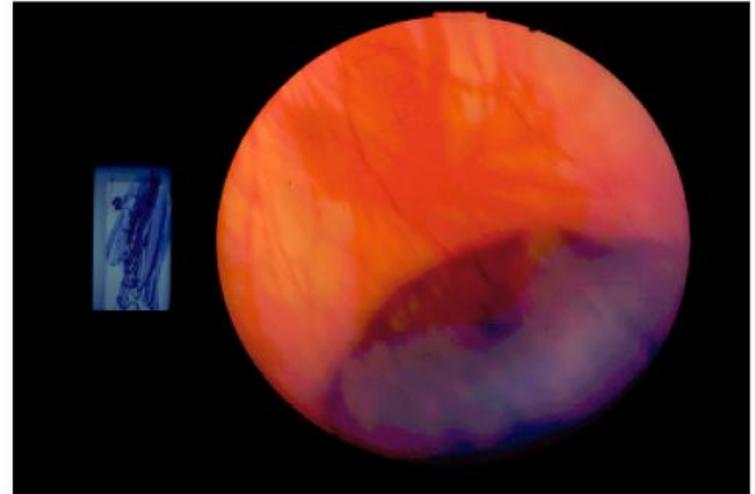
“Less skin cancer is a national environmental goal” (*as declared by Swedish Radiation Safety Authority*).



# Заболевания глаз



(a)



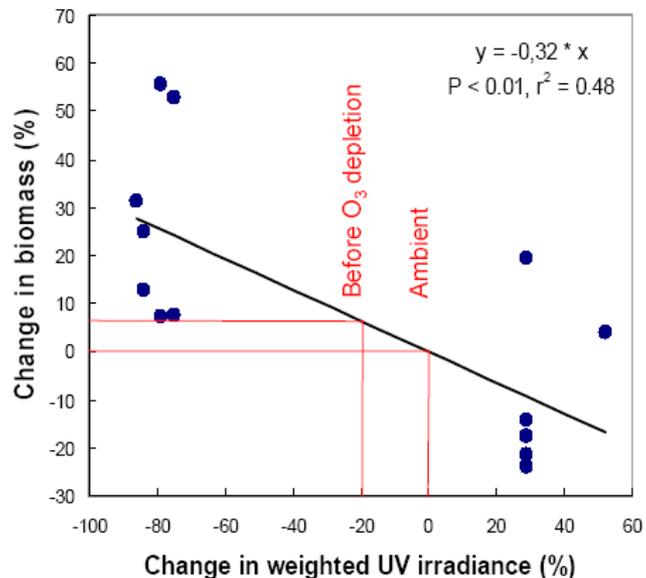
(b)

**Figure 1** Intraocular malignant melanoma: (a) an amelanotic iris melanoma with nutrient blood vessels, causing ectropion of the pigment layer and distortion of the pupil, and (b) a dome-shaped choroidal melanoma with mottled appearance.

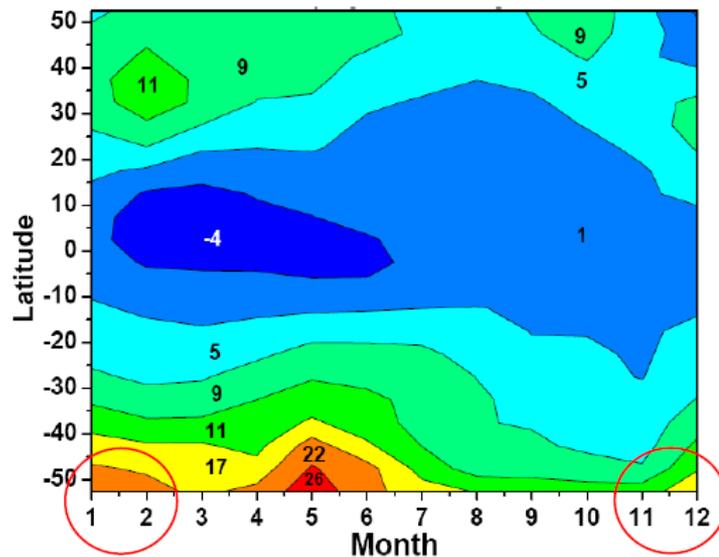
# Вирус Герпеса:



(A) Dose-response relationship for plant biomass



(B) Change un UV irradiance between 1979 and 2008



Количественные оценки уменьшения роста первичной биопродукции в том числе за счет увеличения УФР между 1979-2008.

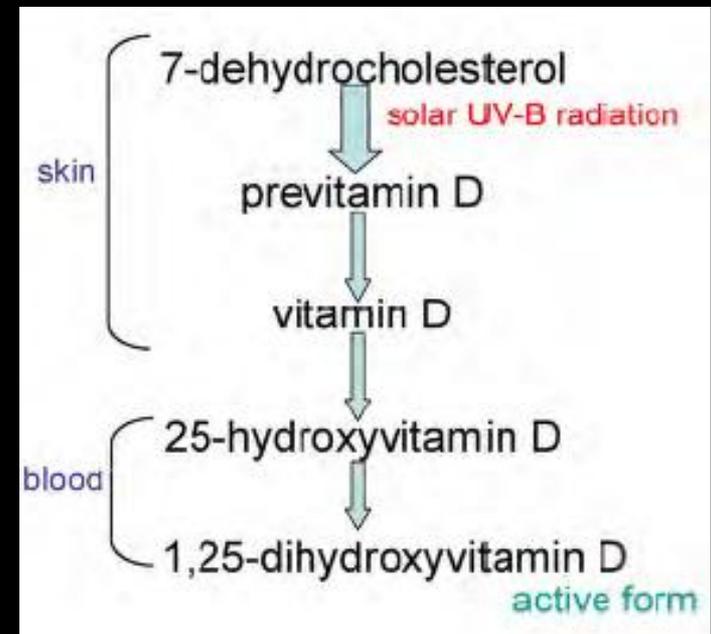
# Влияние на растения:



UNEP, 2011

# Положительное действие УФР: формирование витамин D.

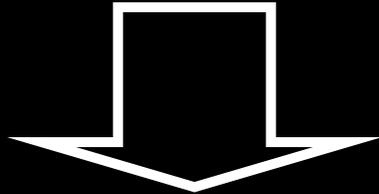
1. поддержание обмена веществ
2. укрепление нервно-мышечных функций
3. укрепление костных тканей
4. укрепление иммунной системы
5. действие против некоторых форм рака



# Методы исследования УФР

- Наземные измерения ( спектральные, широкополосные).
- Спутниковые измерения ( наиболее часто используемые: TOMS, OMI, METEOSAT/TOMS, GOME).
- Моделирование ( радиационные модели, модели реконструкции УФР)

# Мониторинг УФ радиации: СПУТНИКОВЫЙ и наземный



**TOMS, OMI- EOS AURA 2004**

(<http://toms.gsfc.nasa.gov/> )

(<http://aura.gsfc.nasa.gov/> )

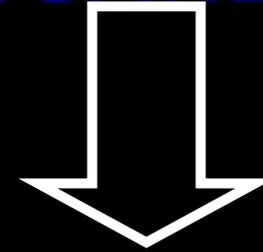
**GOME**

(<http://earth.esa.int/rootcollection/eo4.10075/>)

**MVIRI/METEOSAT+TOMS**

(Verdebout, 2004)

**AVHRR**

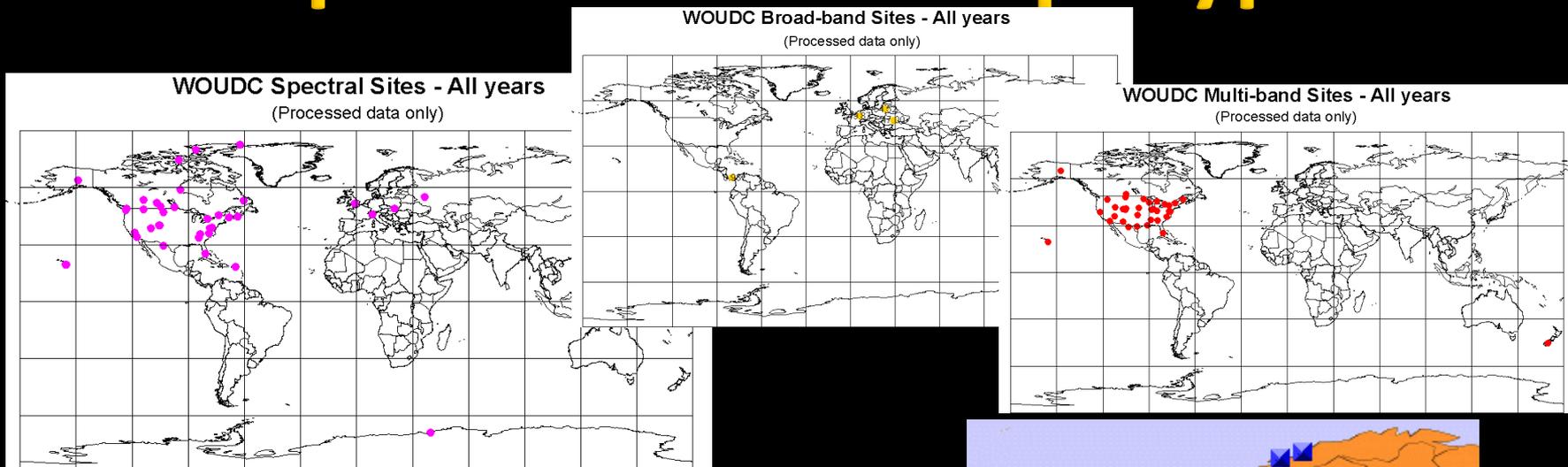


•Спектрорадиометры (  $\approx 1$  нм)  
(сети WOUDC на базе Brewer,  
NSF UV network, European UV  
Database )

•Узкополосные многоканальные  
приборы (2-10 нм)

•Широкополосные приборы (20-  
100нм) (сеть USDA UV-B  
Monitoring and Research  
Program, Европейская УФ сеть,  
др.)

# Измерительная аппаратура



В России сейчас 13 пунктов широкополосных измерений под эгидой Роскомгидромета (ГГО).



# Программа мониторинга УФ радиации в МО МГУ



Самый длинный ряд в мире измерений длинноволновой УФР!

прибор, разработанный в МО МГУ (Гараджа, Высоцкий)



UV-B измерения с 1999



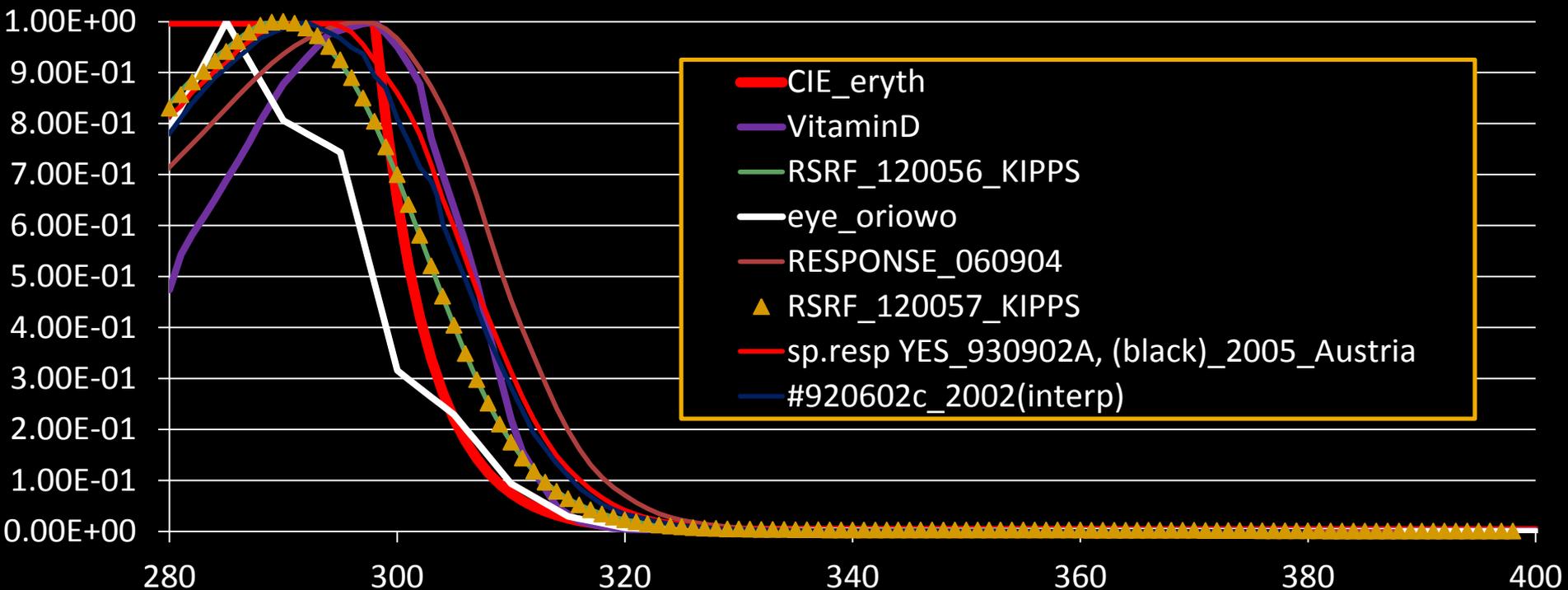
Калибровка приборов.  
Австрия, Инсбрук



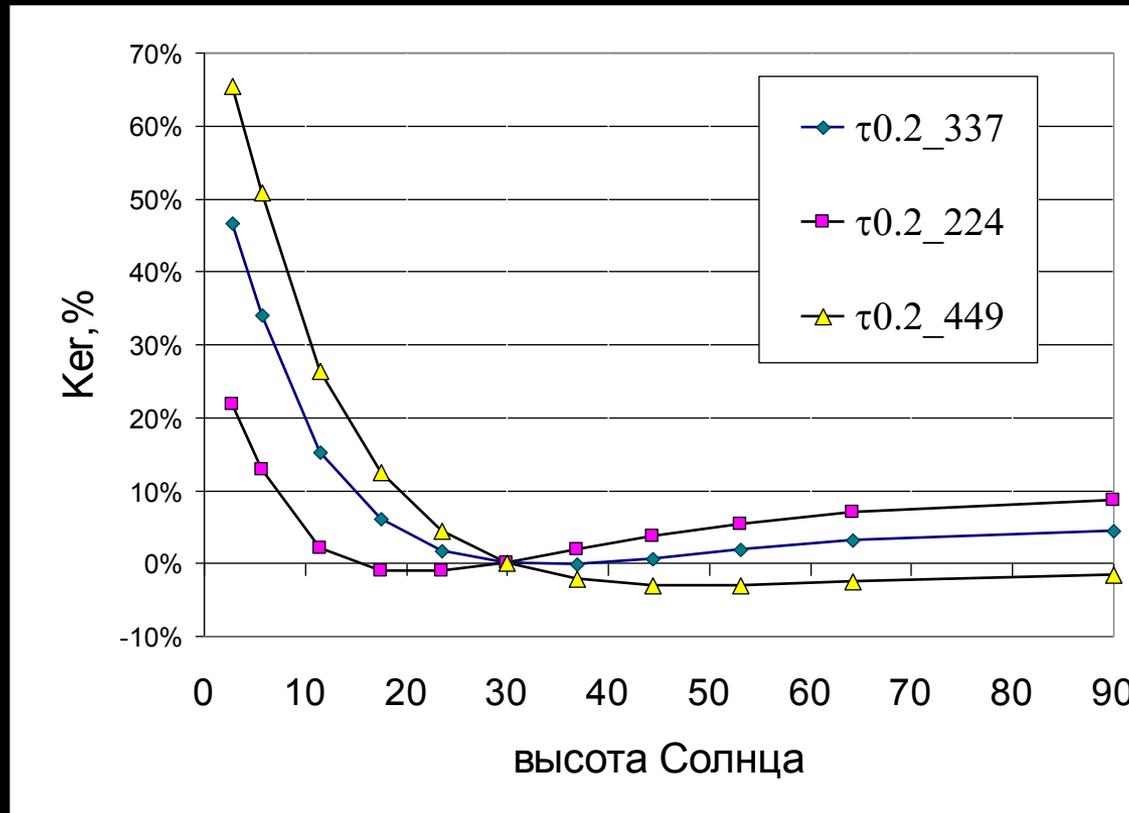
# Методические аспекты мониторинговых измерений:

## Важнейшие требования к широкополосным УФ приборам:

1. Стабильность
2. Близость приборной кривой спектральной чувствительности к спектру биологического (эритемного) действия.



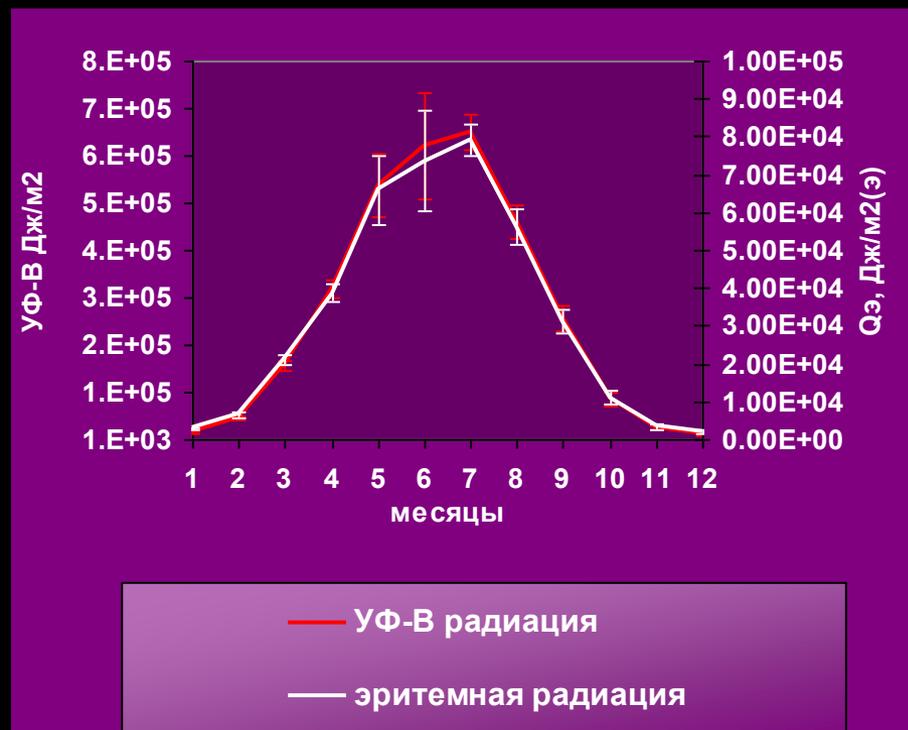
# Коэффициенты $K_{er}$ (в %) при разных высотах Солнца и содержании озона $X=224, 337, 449$ МАТМ.СМ.



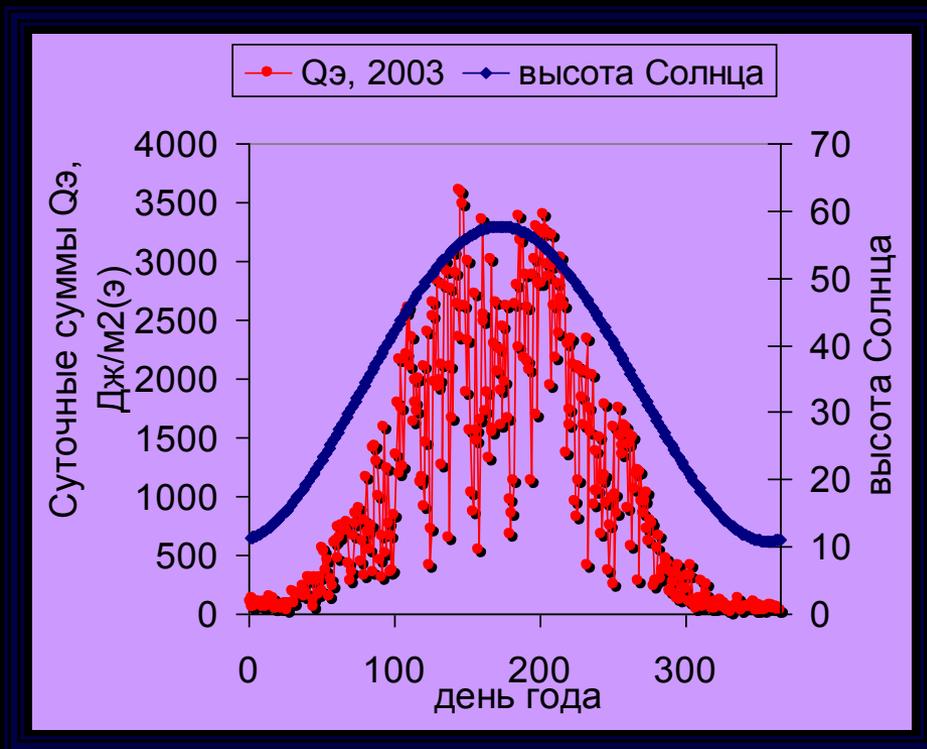
Переводные множители  $CF$  для УФ-В приборов с учетом дополнительной спектральной поправки:

$$CF(h, X) = \left[ \frac{\int Q_{\lambda_{h=h0}} \cdot E_{\lambda}(CIE) d\lambda}{V_{h=h0i}} \right] \cdot (K_{er}(h, X) + 1)$$

# Мониторинг эритемной УФ радиации.



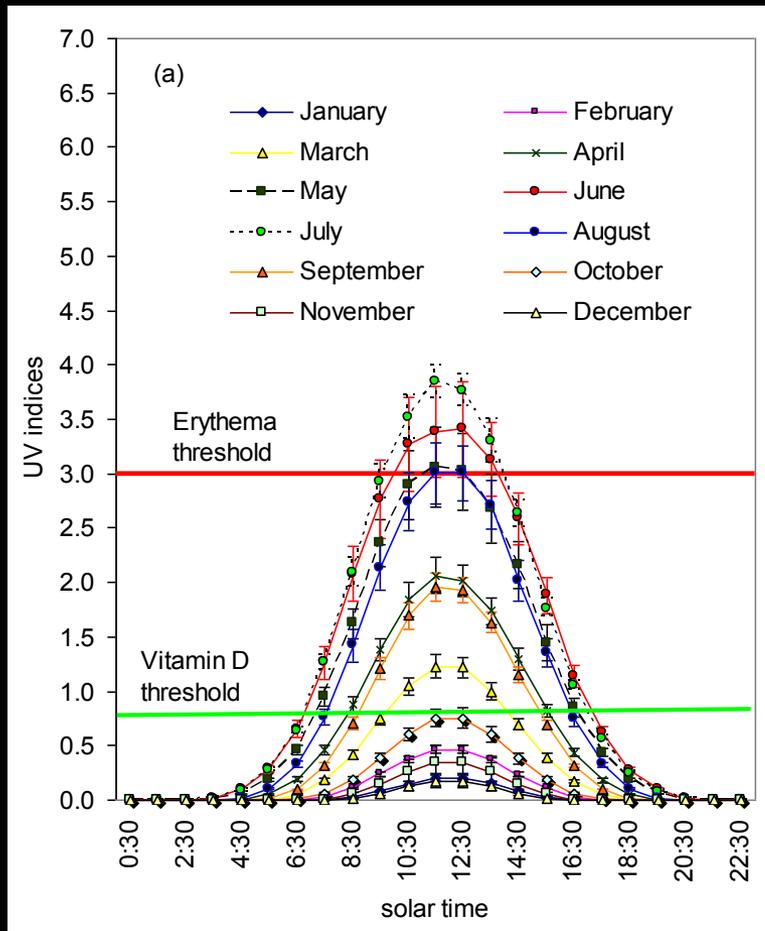
Годовой ход УФ-В радиации и эритемной радиации в Москве



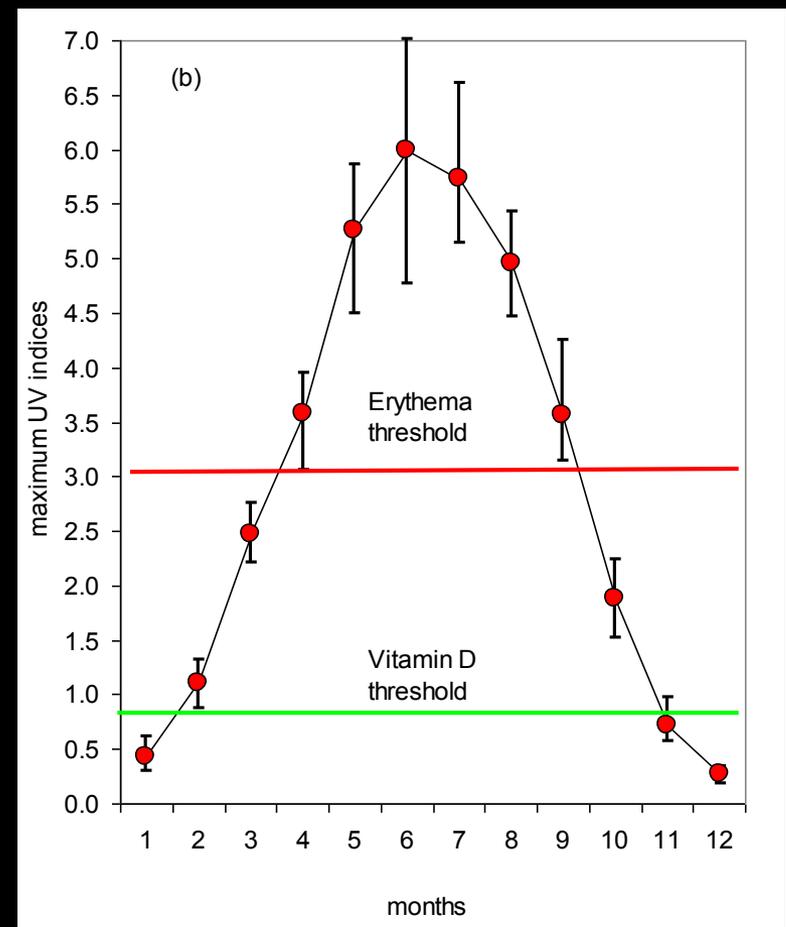
Межсуточная изменчивость эритемной радиации и изменение полуденной высоты Солнца.

# Климатология эритемной УФ радиации в Москве

средние условия

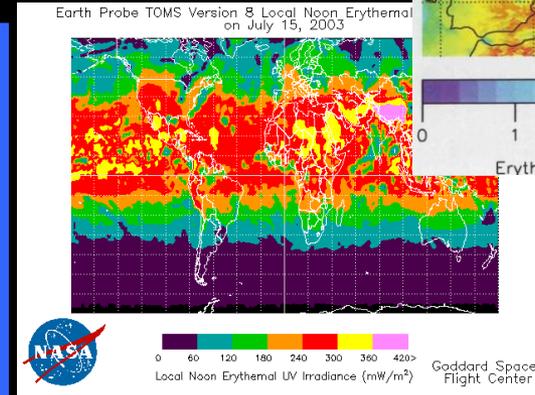
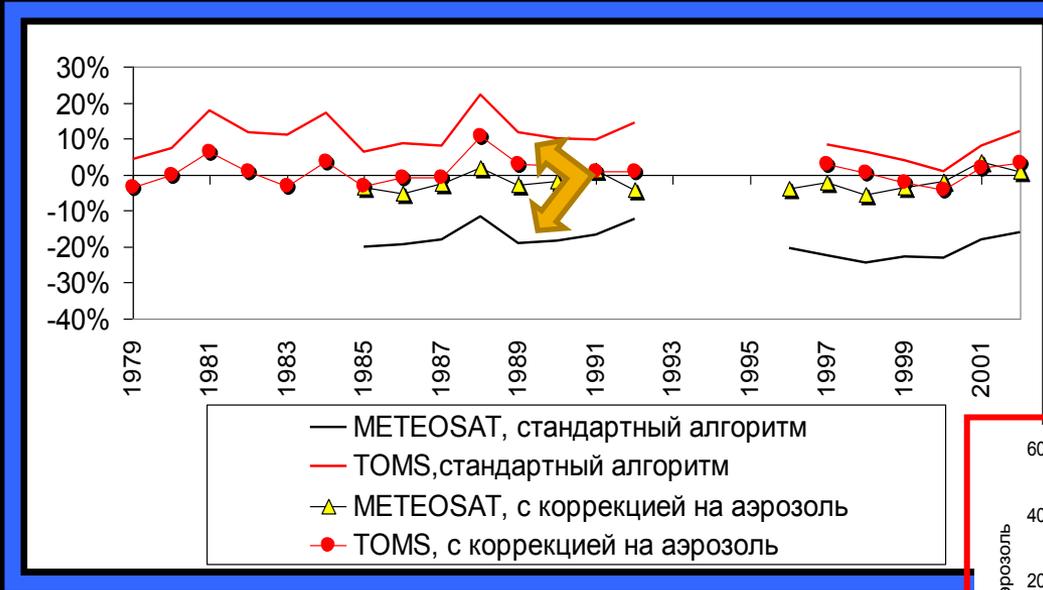


максимальные значения

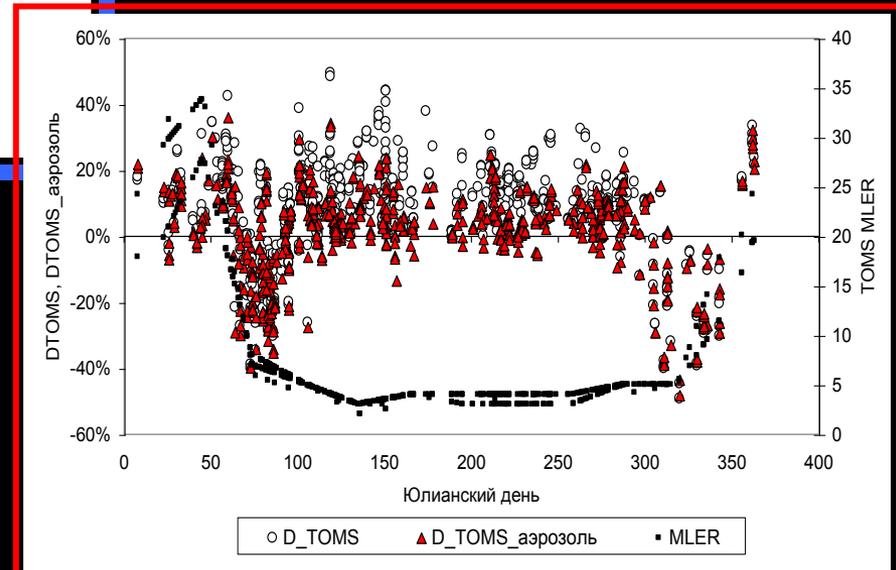


# Спутниковые измерения и оценка их качества.

Сопоставление с данными наземных измерений:



Различия данных TOMS с наземными измерениями при ясных условиях:



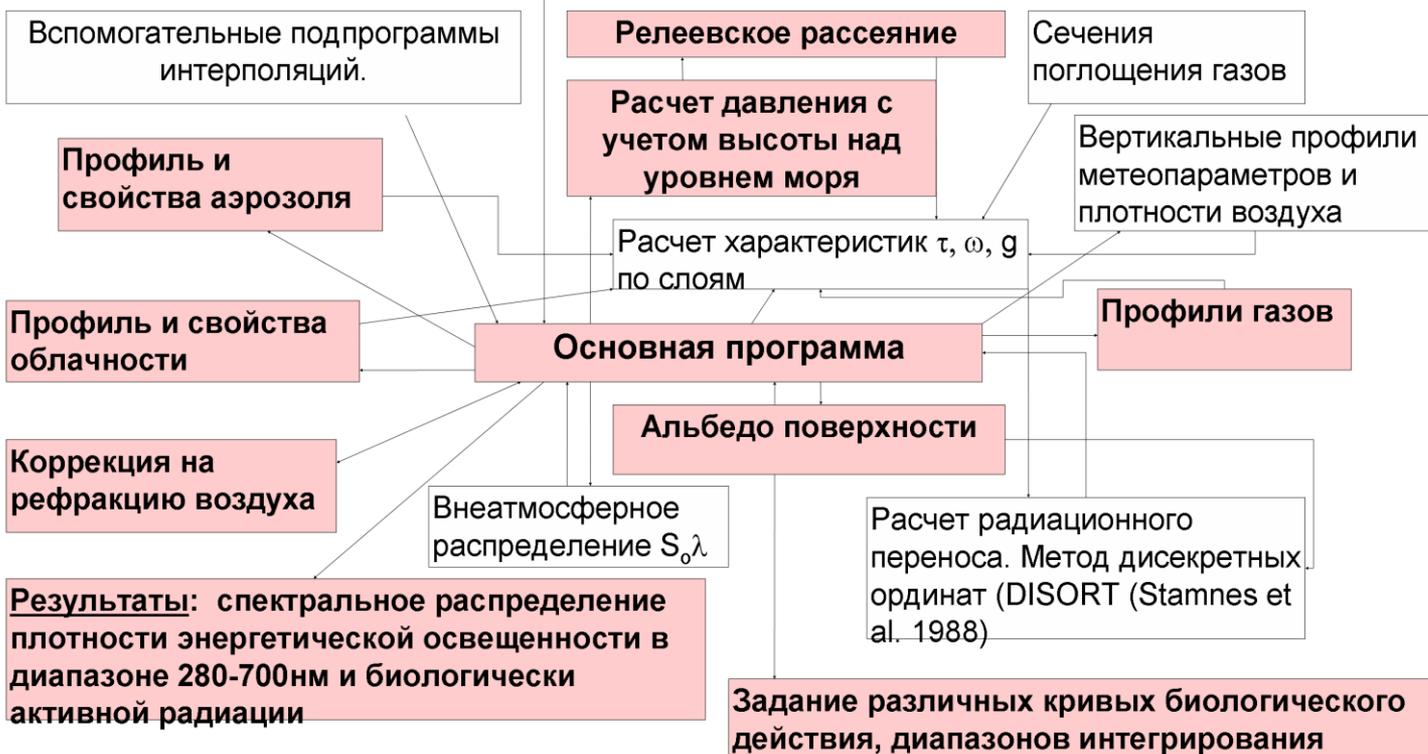
# Моделирование радиационного переноса в УФ диапазоне.

- ОДНОМЕРНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ
- Метод дельта Эддингтона (иногда другие двухпоточковые методы) чаще всего используется в химико-климатических моделях, но он плохо (!) работает в поглощающих средах, т.е. в коротковолновом УФ диапазоне, метод дискретных ординат, др.
- ТРЕХМЕРНЫЕ МОДЕЛИ.
- Использование метода Монте-Карло ( Рублев, Геогджаев, Трембач - серии публикаций)

# Схема усовершенствованной радиационного модельного комплекса TUV в МГУ:

## Переменные входные параметры:

широта, высота Солнца, высота над уровнем моря, содержание озона, оптическая толщина аэрозоля и облаков, альbedo однократного рассеяния и фактор асимметрии аэрозоля, приземные концентрации тропосферных газов, альbedo поверхности



# Модели реконструкции УФР

- статистические модели; модели, основанные на нейронных сетях.
- реконструкции на базе химико-климатических моделей ( очень скверное качество)
- гибридные модели, основанные на модельных оценках УФР при ясном небе и облачной коррекции по данным о суммарной коротковолновой радиации.
- метод, основанный на оценке физически обусловленных вкладов аномалий УФР от каждого фактора ( гипотеза аддитивности).

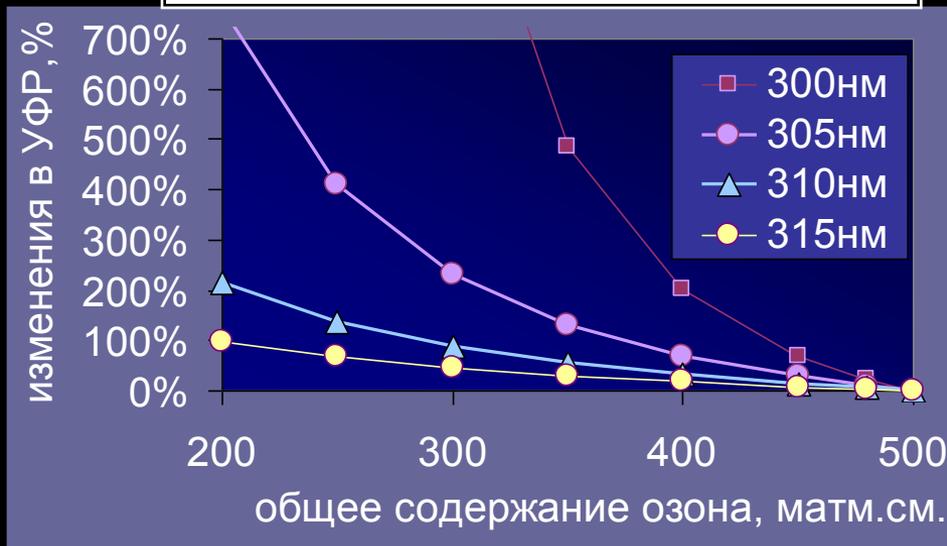
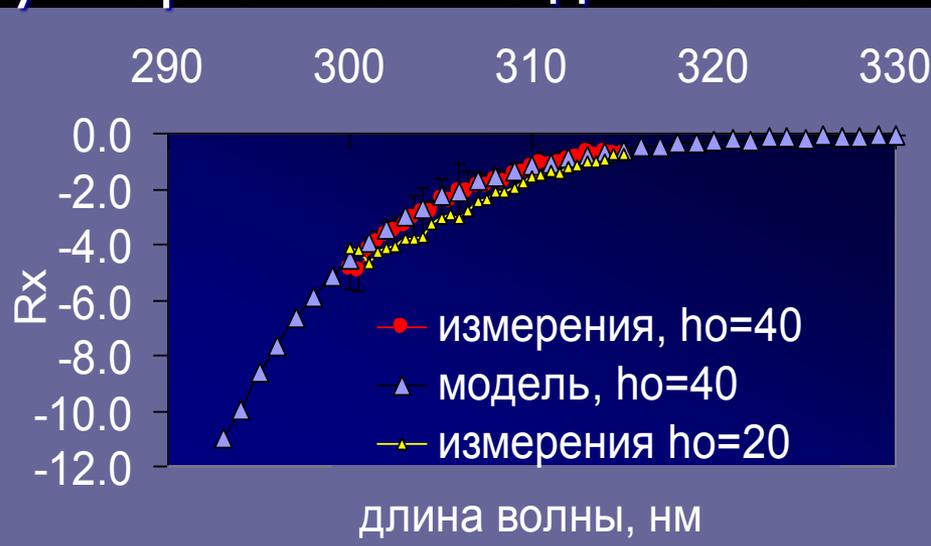
# Основные геофизические факторы, влияющие на УФР:

- Озон и некоторые другие газы
- Аэрозоль
- Отражательные свойства (альбедо) поверхности
- Облачность

# Влияние общего содержания озона на УФР на УФР

$Q(\lambda) \sim X^{Rx(\lambda)}$ , где  $X$  –  
общее содержание озона,  $Q$  –  
суммарная УФР на длине волны  $\lambda$ .

$Rx$  – радиационный  
фактор усиления за счет  
озона.

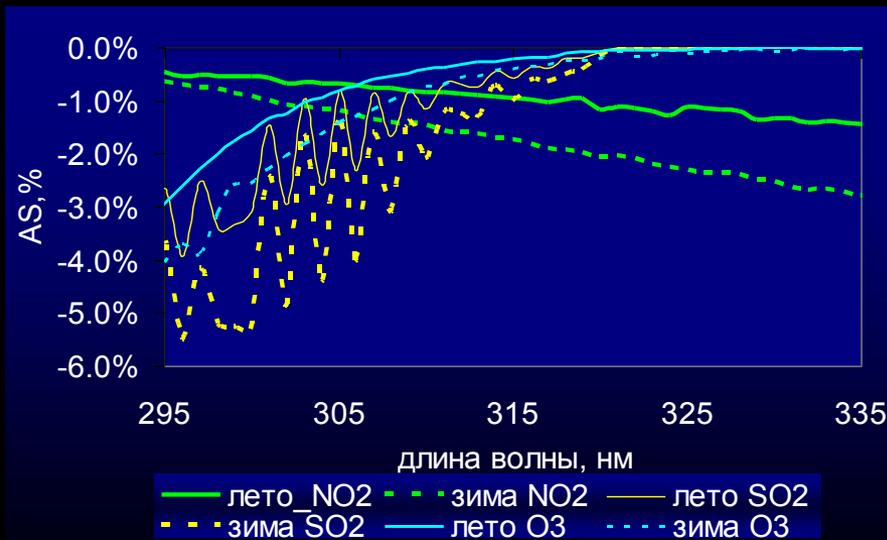


Спектральная зависимость  $Rx$ , полученная по экспериментальным данным при  $h_0=40^\circ$  и  $h_0=20^\circ$ , а также данные модельных расчетов при  $h_0=40^\circ$  (а); изменение УФР разных длин волн за счет изменения озона (б). Данные спектральных измерений в Барроу, Аляска.

# Влияние тропосферных газов на УФР

Чувствительность УФР ( $Q$ ) к изменению содержания некоторых газов ( $C$ ) в нижней тропосфере ( $AS$ ):

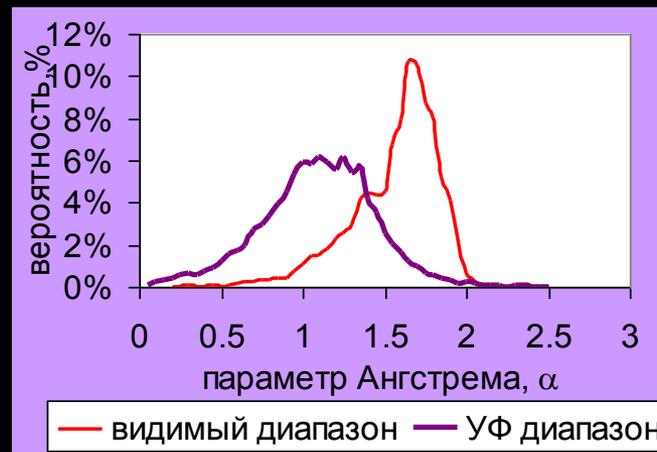
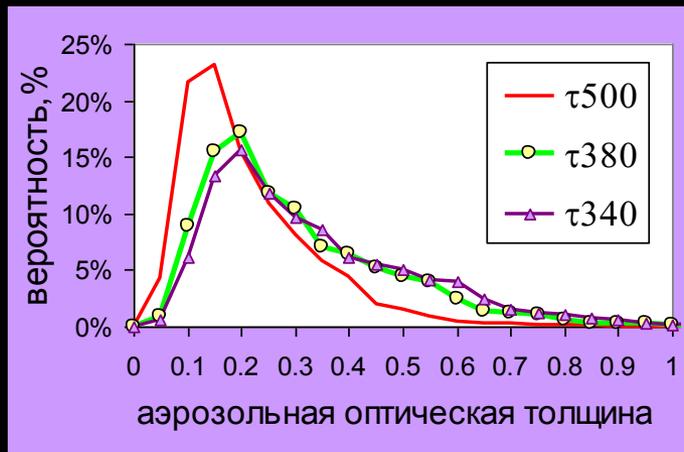
$$AS = \frac{dQ}{QdC} 100, \%$$



	$AS$ (%/матм.см.) Июль / Январь		
	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Эритемно- взвешенная УФ радиация, $Q_e$	-0.6 / -0.4	-0.8 / -1.8	-1.0 / -0.9
УФ радиация 280-400 нм	<<0.01	-1.6 / -2.9	<<0.01

Основным тропосферным газом, ослабляющим УФР в Москве является NO<sub>2</sub>. Потери УФР при его среднем содержании в городе составляют 2-3%; потери УФР увеличиваются до 10-15% при адвекции воздуха из районов лесных пожаров.

# Радиационные свойства аэрозолей в Москве



Гистограммы распределения аэрозольных оптических толщин и параметров Ангрстрема в ультрафиолетовом и видимом диапазоне спектра. 2001-2004 гг.

## Характеристики типичного аэрозоля в Москве:

аэрозольная оптическая толщина на 340нм:  $\tau_{340} \sim 0.26$ ,

параметр Ангрстрема  $\alpha_{УФ} \sim 1.1$

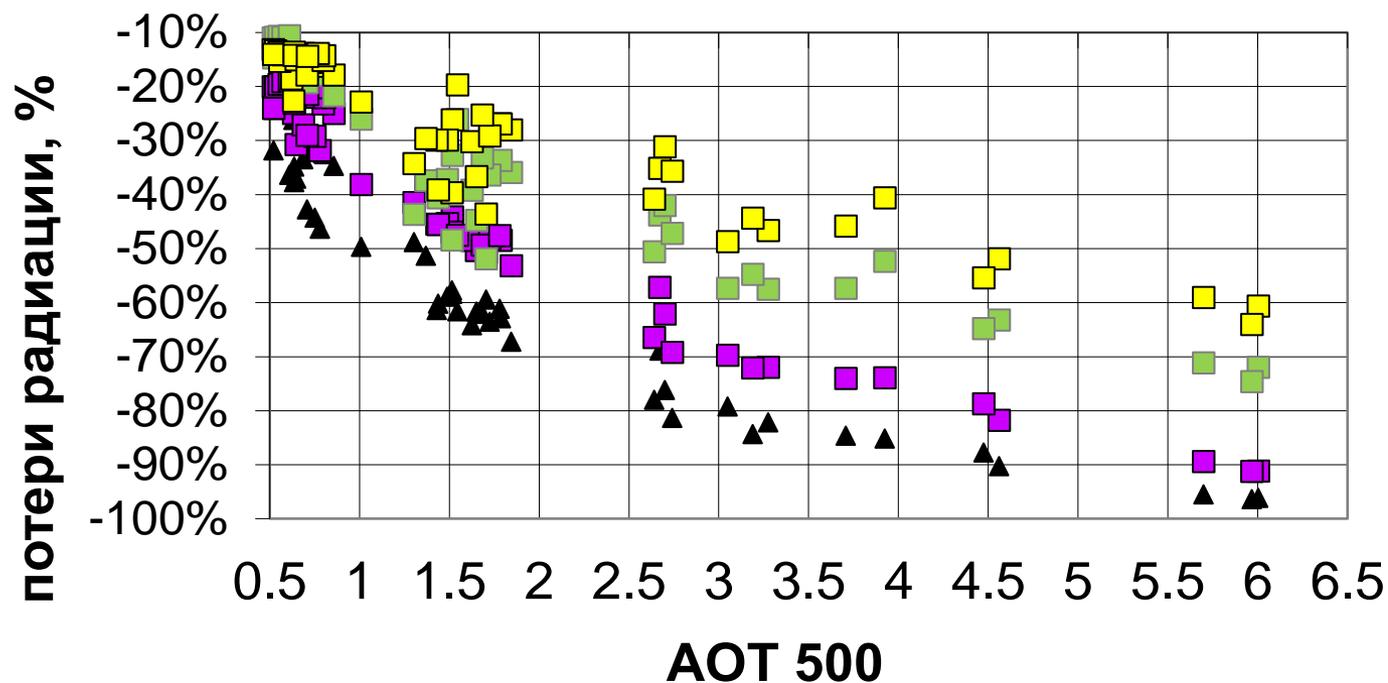
альбеда однократного рассеяния  $\omega_{УФ} \sim 0.91$ ,

фактор асимметрии  $g_{УФ} \sim 0.72$

# Влияние аэрозоля на УФР

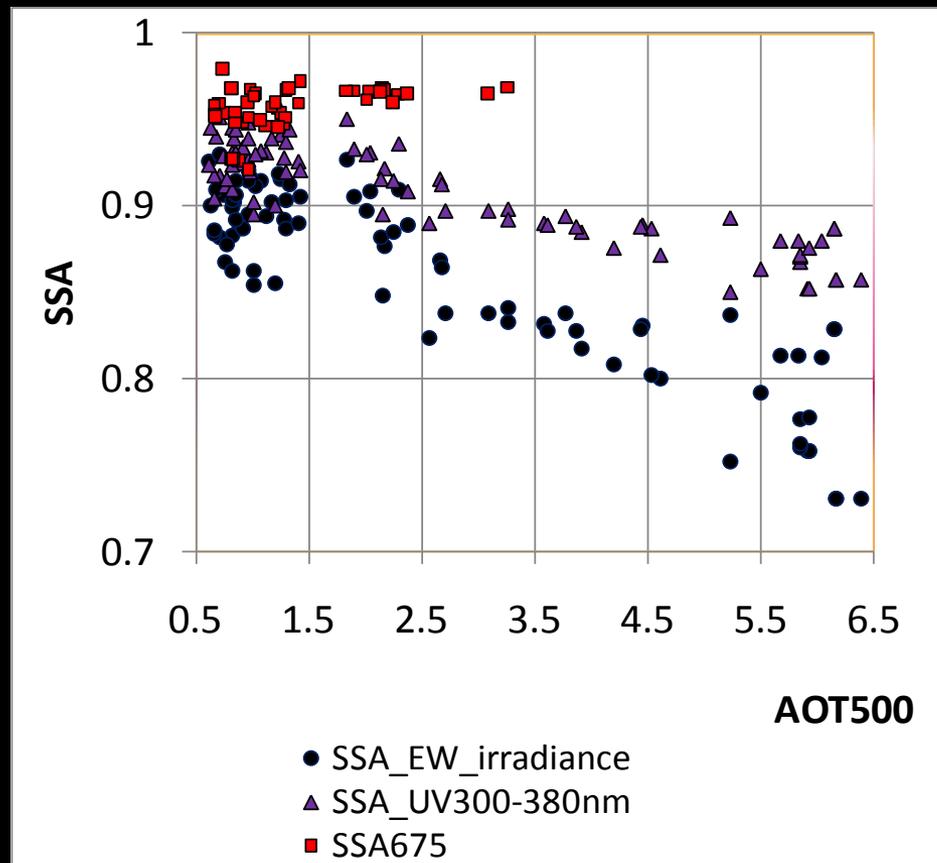
Типичный аэрозоль ослабляет УФР в пределах от 2 до 40% при модальном значении около 15-20% в Москве

Потери суммарной радиации в различных спектральных диапазонах как функция аэрозольной оптической толщины в условиях дымового аэрозоля.

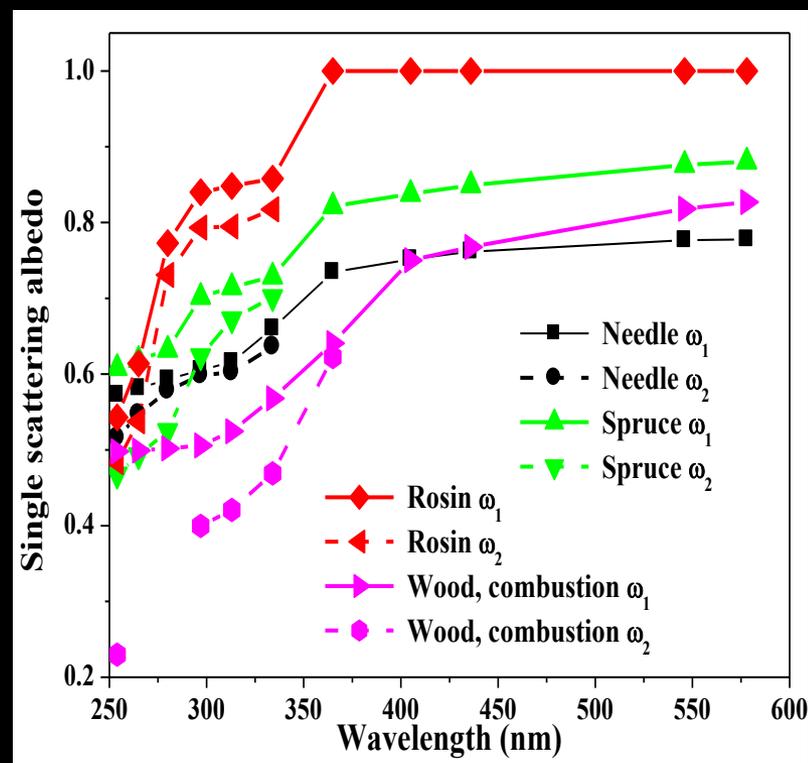


▲ менее 320 нм   ■ УФ 300-380нм   ■ 400-700нм   ■ 300-4500нм

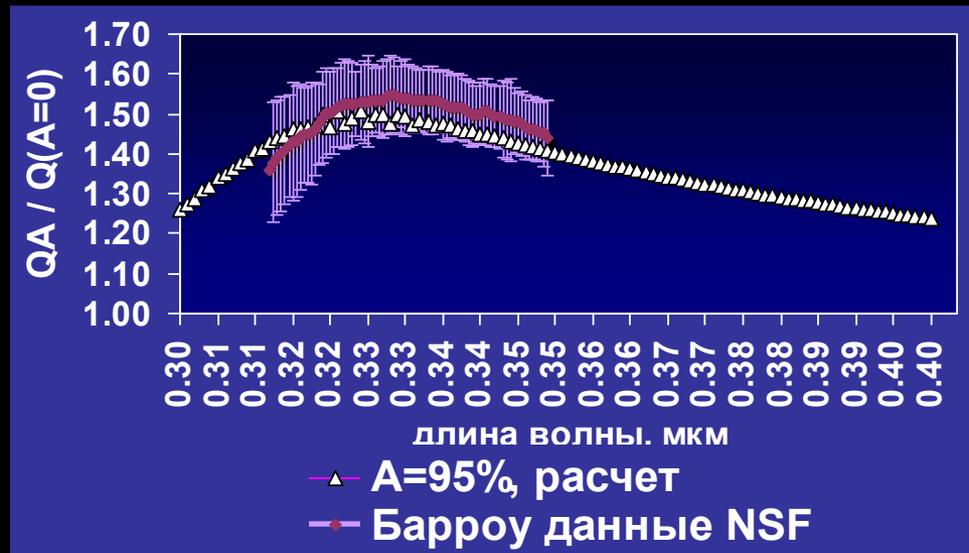
Восстановленные значения  
альbedo однократного рассеяния  
SSA в условиях дымового аэрозоля  
по данным измерений радиации и  
модельных расчетов:



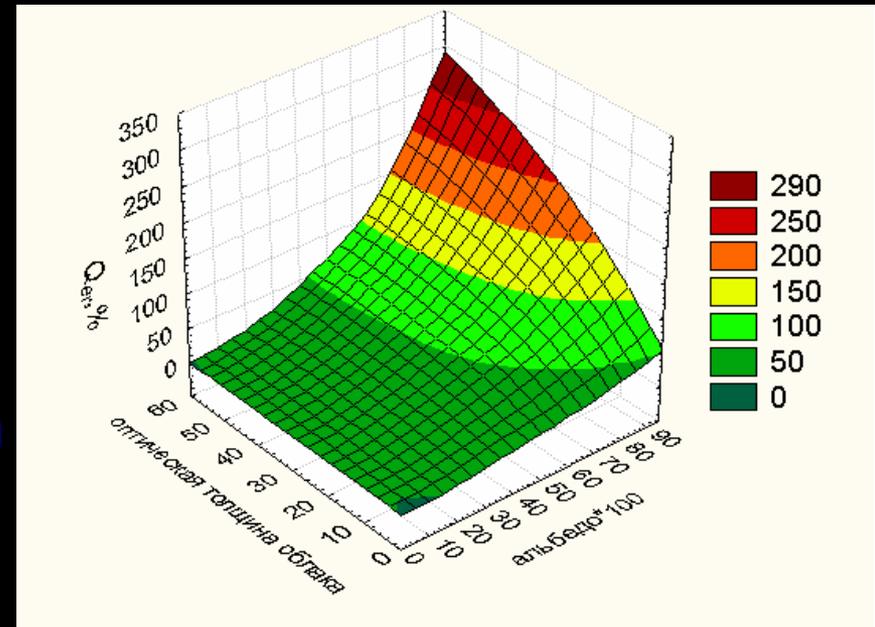
Измерения SSA in situ  
(Свириденков, 2008)



# Влияние альbedo поверхности на УФР



Спектральная зависимость роста УФР за счет снега при ясном небе. Результаты расчетов при  $A=0.95$  и измерений в Барроу, Аляска



Рост эритемной радиации (в %) в зависимости от альbedo поверхности и оптической толщины облачности

# Влияние облачности на УФР

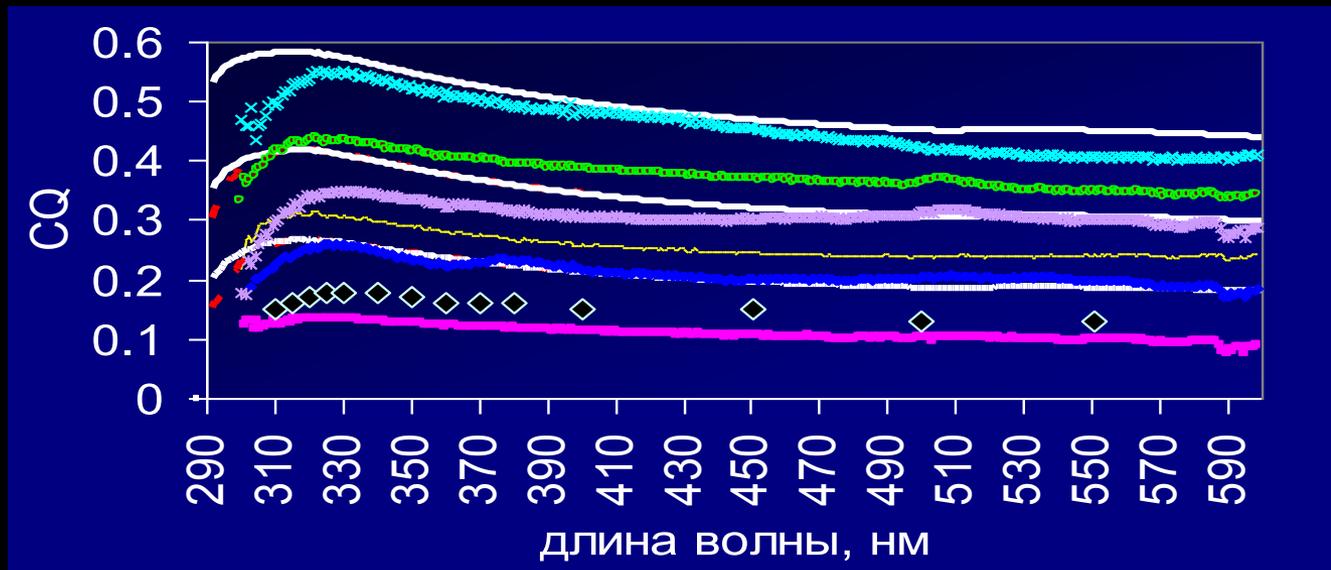
Пропускание облачным слоем

$$C_Q = Q / Q_0,$$

где  $Q$  - суммарная УФР при сплошном покрове облаков,

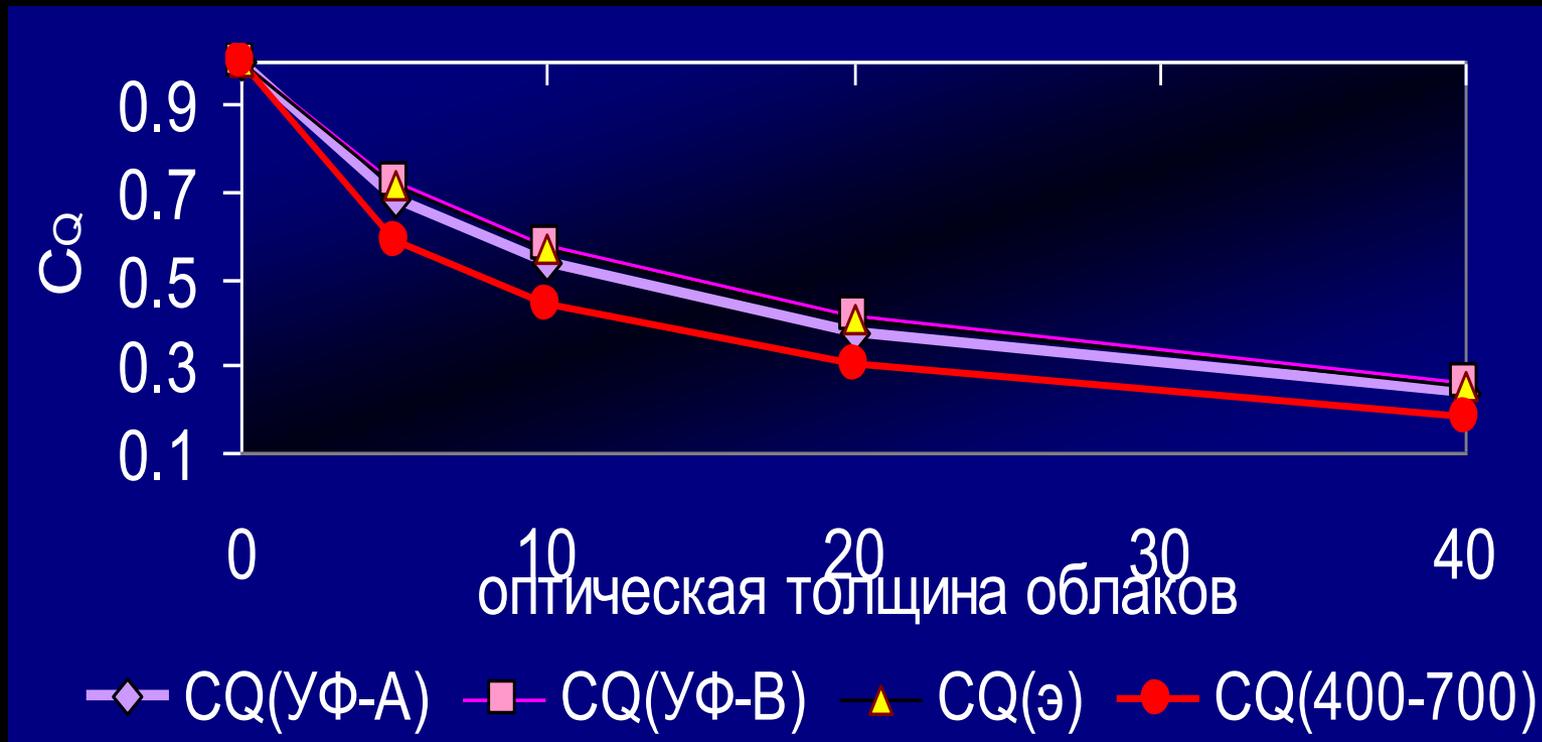
$Q_0$  - суммарная УФР при безоблачном небе.

Спектральная зависимость  $C_Q$  по данным расчетов (белые линии при  $\tau_{\text{обл}}=10,20,40$ ) и измерений МО МГУ (Кисловодск и др.), NSF (Барроу).

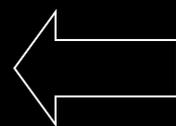
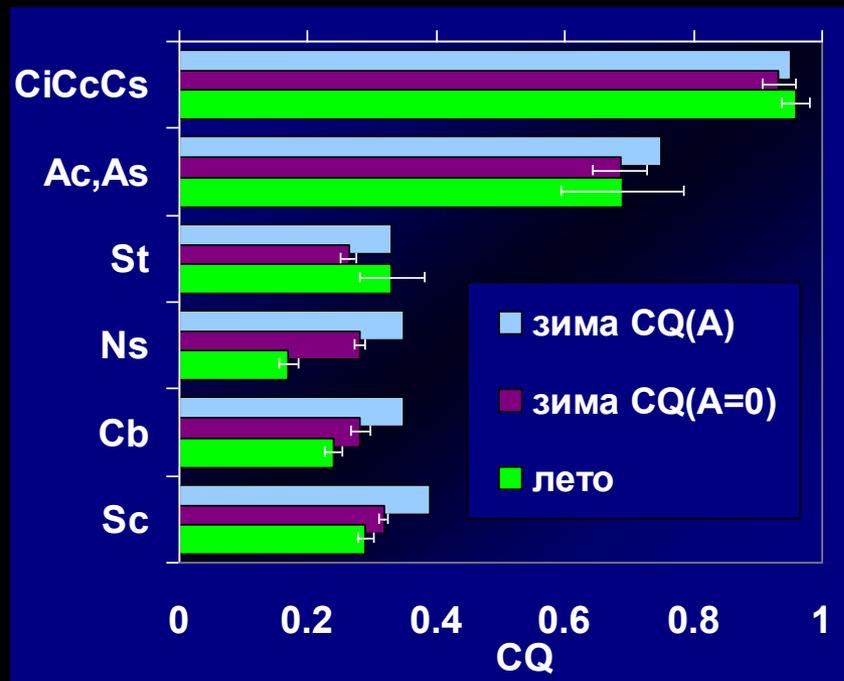




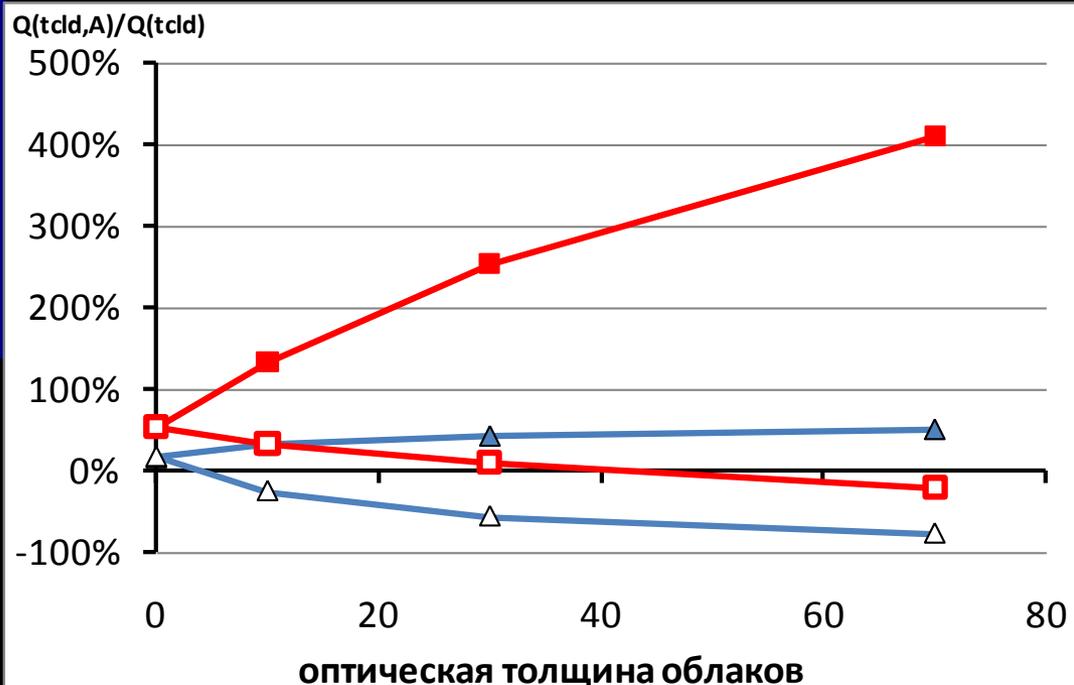
# Пропускание $C_Q$ как функция оптической толщины облака для различных спектральных интервалов.



# Пропускание УФР облаками разных форм

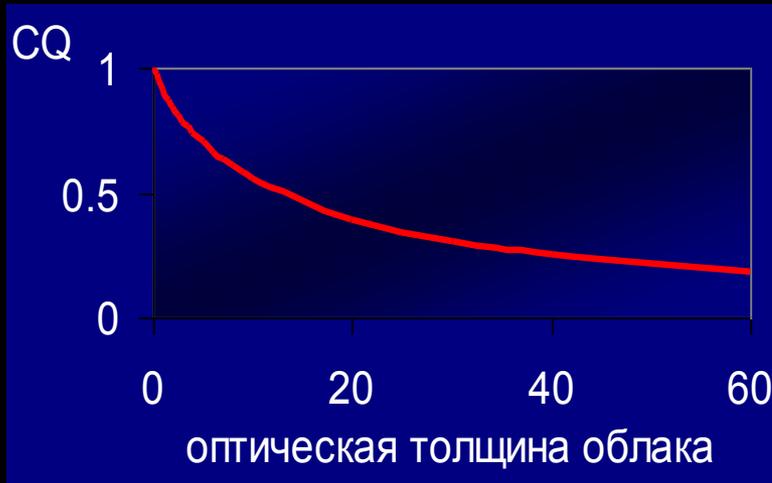


Пропускание УФР ( $C_Q$ ) различными типами облаков в теплый и холодный периоды.



- ▲— A=40%
- A=95%
- △— A=40%, against A=0% clear sky
- A=95% against A=0% in clear sky

# Оптические толщины облаков по данным суммарной УФР



Зависимость пропускания суммарной УФР от  $\tau_c$ .

$\tau_c = (m^2 - m(m^2 + 325.95)^{0.5}) / 18.05$ ,  
 где  $m = 12.61 \log(C_Q(A=0))$  согласно модельной аппроксимации при  $g_c = 0.85$ ,  $SSA = 1$ .

$\tau_{ci} = (1 - C_Q(A=0)) / 0.24$  – согласно результатам Звенигородских экспериментов 80-90-х гг.

Средние оптические толщины облаков (теплый/холодный периоды) в Москве:

Слоисто-кучевые Sc ~ 42 / 46

Слоистые St ~ 33 / 54

Слоисто-дождевые Ns ~ 73 / 52

Кучево-дождевые Cb ~ 56 / 55

Облака верхнего яруса:

CiCsCs ~ 0.2 / 0.3

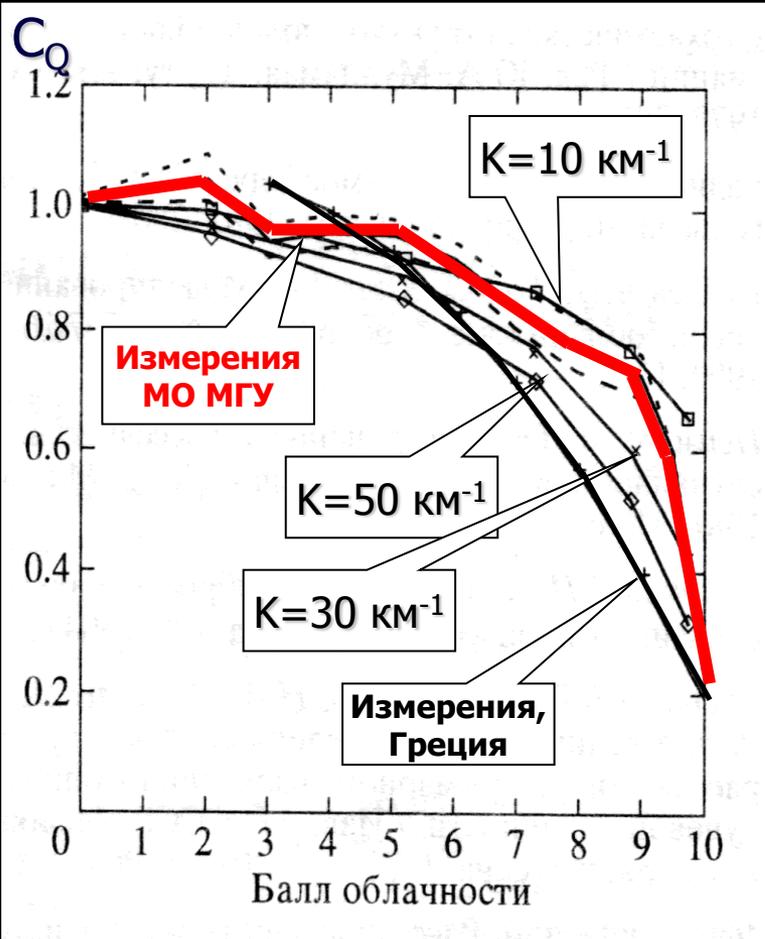
Для исключения эффектов переотражения за счет альбедо поверхности

$C_Q(A=0)$  выражается через параметризацию:

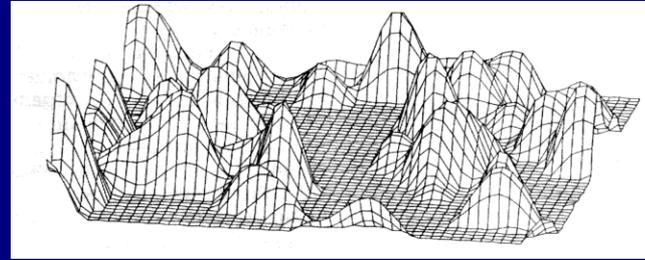
$$C_{Q(A=0)} = C_{Q(A)} (1 - k_1 A) / (1 - R A - k_2 A C_{Q(A)})$$

где  $k_1 \sim 0.9$ ,  $k_2 \sim 0.6$  – модельные коэффициенты,  $R \sim 0.3$  – коэффициент переотражения.

# УФР в условиях разорванной облачности



Фрагмент модельного облачного поля при  $N_z=5$ .



*Рублев и др., 1998*

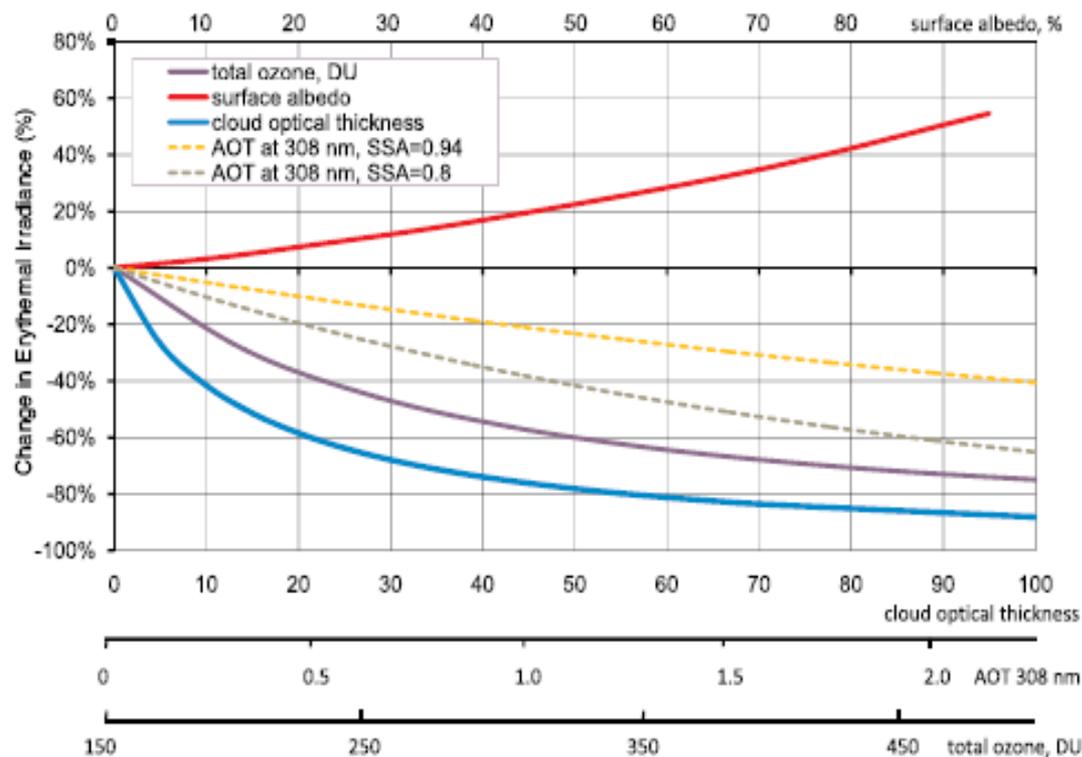
Зависимость  $C_Q$  от балла облаков нижнего яруса,  $N$ , и продолжительности солнечного сияния, ПСС:

$$C_Q = 0.13 + 0.3 \text{ ПСС} + 0.54 f(N), R^2 = 0.832$$

Зависимость  $C_Q$  от балла облаков нижнего яруса по данным многолетних измерений и результатам моделирования методом Монте-Карло.

# Сопоставление действия атмосферных различных факторов на биологически активную УФР:

**Figure 3-5.** Relative changes (percent) in erythemal irradiance due to total ozone, cloud optical thickness, surface albedo and aerosol optical thickness (AOT) at 308 nm for two values of single scattering albedo (SSA), calculated for 50° solar zenith angle with the Tropospheric Ultraviolet-Visible (TUV) v.2 model (Madronich and Flocke, 1999). All parameters vary within the range observed in real atmospheric conditions. Except for the effect of cloud optical thickness, all calculations refer to cloud-free skies. For the calculation of erythemal irradiance changes due to ozone, typical values were used for the aerosol optical thickness, AOT = 0.31, (Kinne et al., 2006) and the single scattering albedo, SSA = 0.94 (Chubarova, 2009). For estimating the effects from aerosols, surface albedo, and cloud optical thickness, an ozone column of 300 DU was used in the model simulations.



# Модель реконструкции УФР

$$V_i = \sum (W_j(h) (v1_{ij}(X) + v2_{ij}(\tau_a, P_{clear}A) + v3_{ij}(N_{eff}A) + v4_{ij}(\tau_c, P_{ov})) / \sum W_j(h),$$

$v1_{ij}(X)$  – изменение УФ радиации за счет озона

$v2_{ij}(\tau_a, P_{clear}A)$  – изменение УФ радиации за счет аэрозоля

$v3_{ij}(N_{eff}A)$  - изменение УФ радиации за счет эффективного балла облаков

$v4_{ij}(\tau_c, P_{overcast})$  - изменение УФ радиации за счет оптической толщины облаков

Обозначения:

$i$  - год,  $j$  – месяц;  $v1$ ,  $v2$ ,  $v3$ ,  $v4$  – вариации УФР, соответственно, за счет общего содержания озона ( $X$ ), аэрозольной оптической толщины ( $\tau_a$ ), эффективного балла ( $N_{eff}$ ) и оптической толщины облачности ( $\tau_c$ ).  $P_{clear}$  и  $P_{ov}$  – повторяемость малооблачных случаев и условий сплошного покрытия облаками,  $W_j(h)$  – весовая функция зависимости от высоты Солнца,  $A$  – альбедо поверхности.

$$v1_{ij}(X) = (X_{ij}^{R_x}) / \bar{X}_j^{R_x}$$

$R_x$  - радиационный фактор  
усиления за счет озона.

$$v2_{ij}(\tau_a, P_{clear}, A) = [P_{clear,ij} \cdot 0.103 (\bar{\tau}_{aj} - \tau_{a,ij}) / (0.239 - 0.103 \tau_{a,ij})] / (1 - 0.3 A_{ij})$$

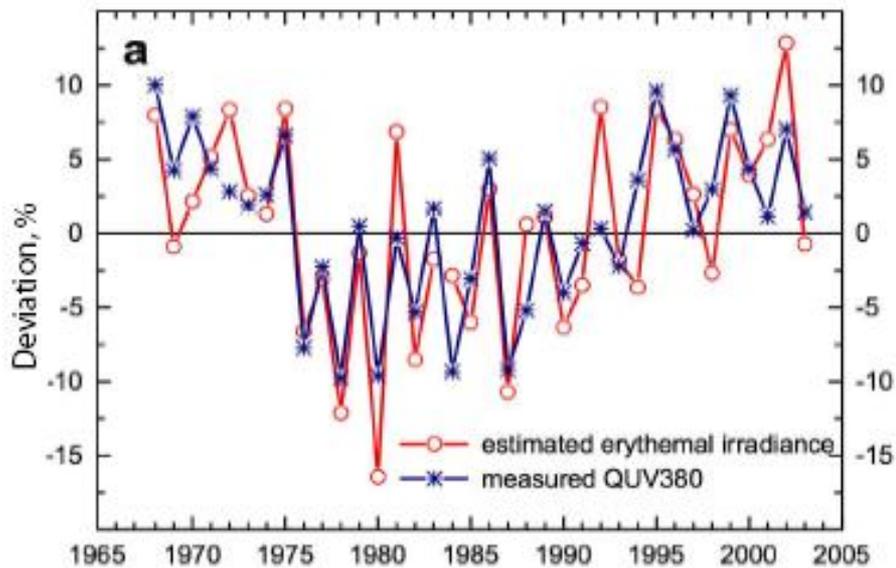
$$v3_{ij}(N_{eff}, A) = \frac{C_{Qij}(N_{eff}, A) - \bar{C}_{Qj}(N_{eff}, A)}{\bar{C}_{Qj}(N_{eff}, A)}$$

$$v4_{ij}(\tau_{cl}, P_{ov}) = P_{ov,ij} \cdot \frac{\bar{C}_{Qj}(\tau_{cl}) - C_{Qij}(\tau_{cl})}{\bar{C}_{Qj}(\tau_{cl})}$$

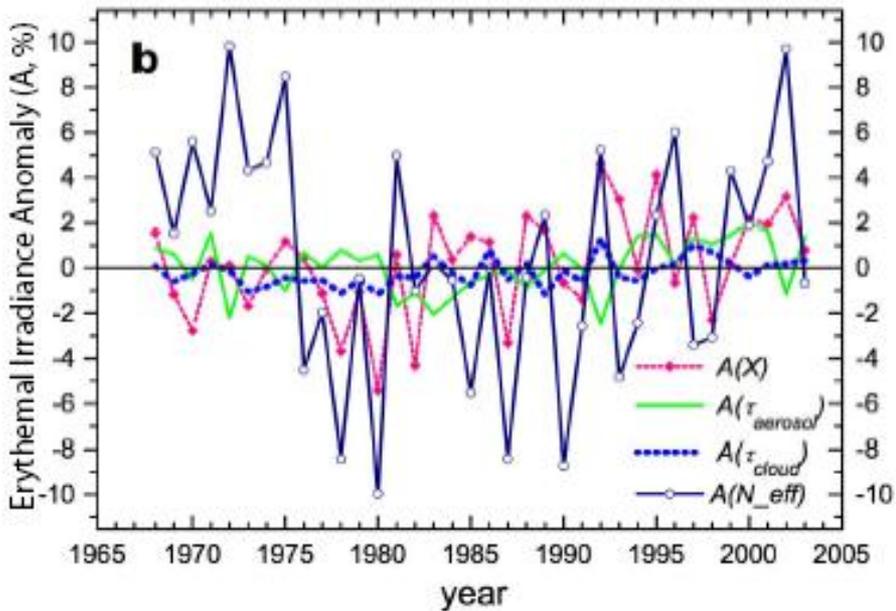
$$C_{Qij}(N_{eff}, A) = C_{Qij}(N_{eff}, 0) / [1 - A_{ij} (k1 - k2 C_{Qij}(N_{eff}, 0))]$$

$$C_Q(N_{eff}, 0) = \sum_{NI=0}^{10} \left\{ [P(NI) - P(NI, N=10)] \cdot C_Q(NI) + P(NI, N=10) \cdot C_Q(NI) \cdot C_{Qup} \right\}$$

$P(NI)$  – повторяемость случаев с баллом облаков нижнего яруса (NI) за рассматриваемый месяц  $j$ ,  $P(NI, N=10)$  – то же при балле общей облачности  $N=10$ ;  $CQ(NI)$  - пропускание УФР нижней облачностью,  $CQ_{up}=0.93$  - среднее пропускание УФР сплошным покровом облаков верхнего и среднего ярусов

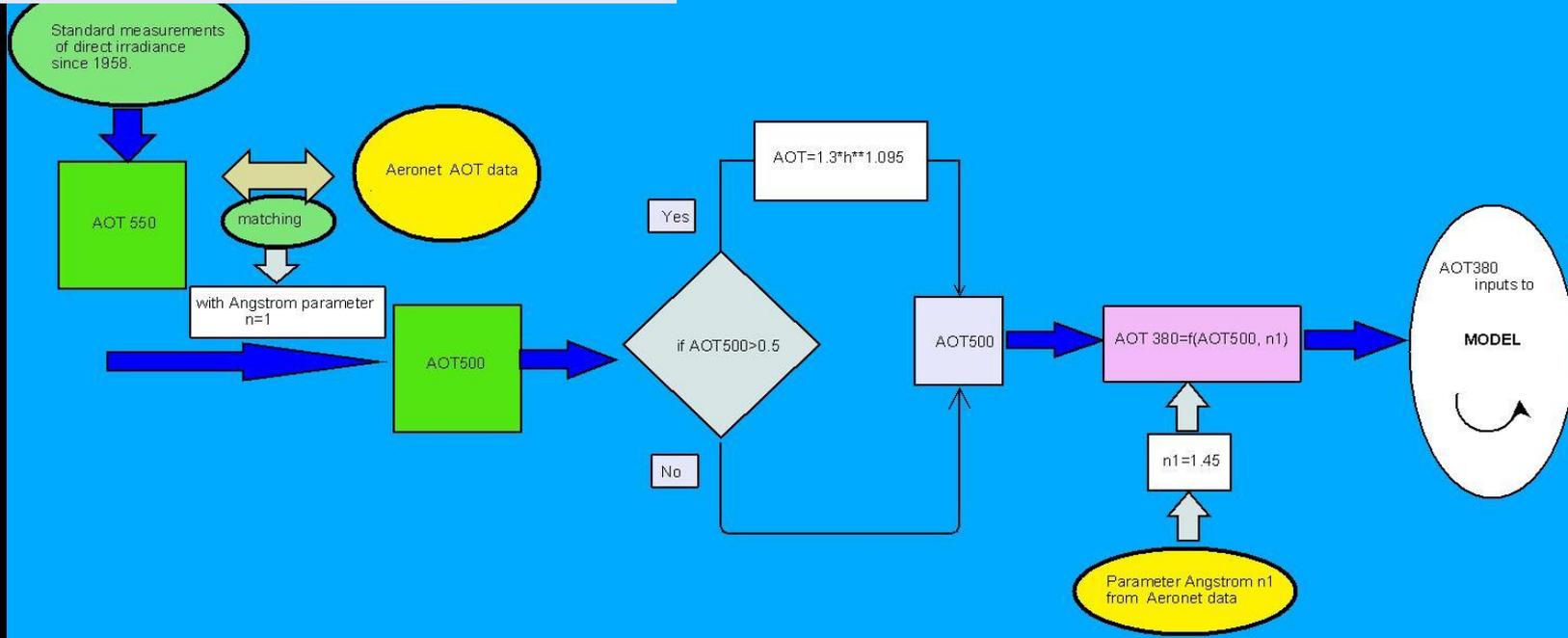
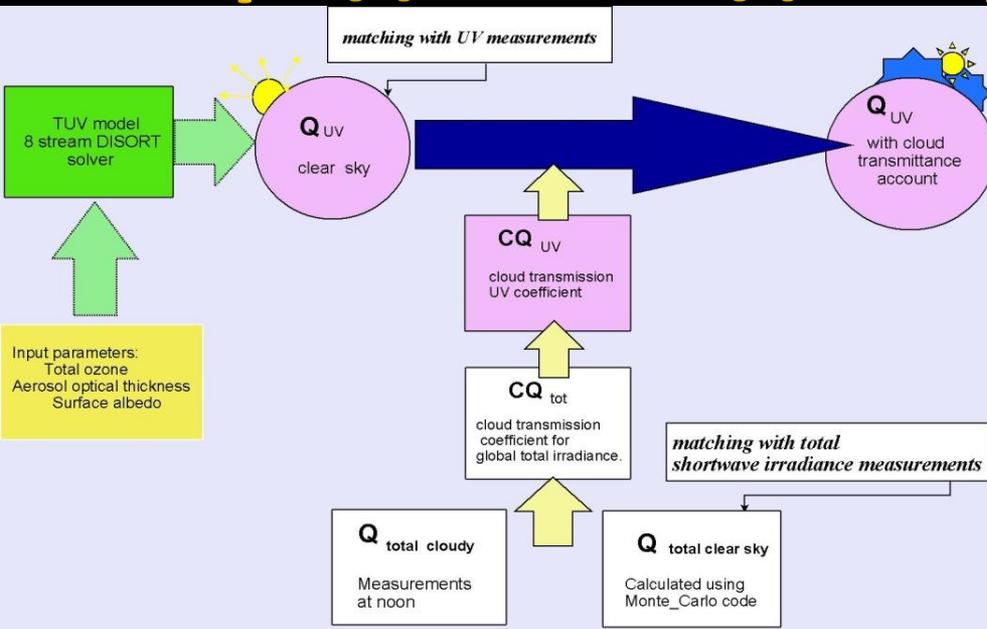


(a). Межгодовая изменчивость реконструированной эритемной радиации и измеренной УФ радиации 300-380 нм (QUV380). Москва.

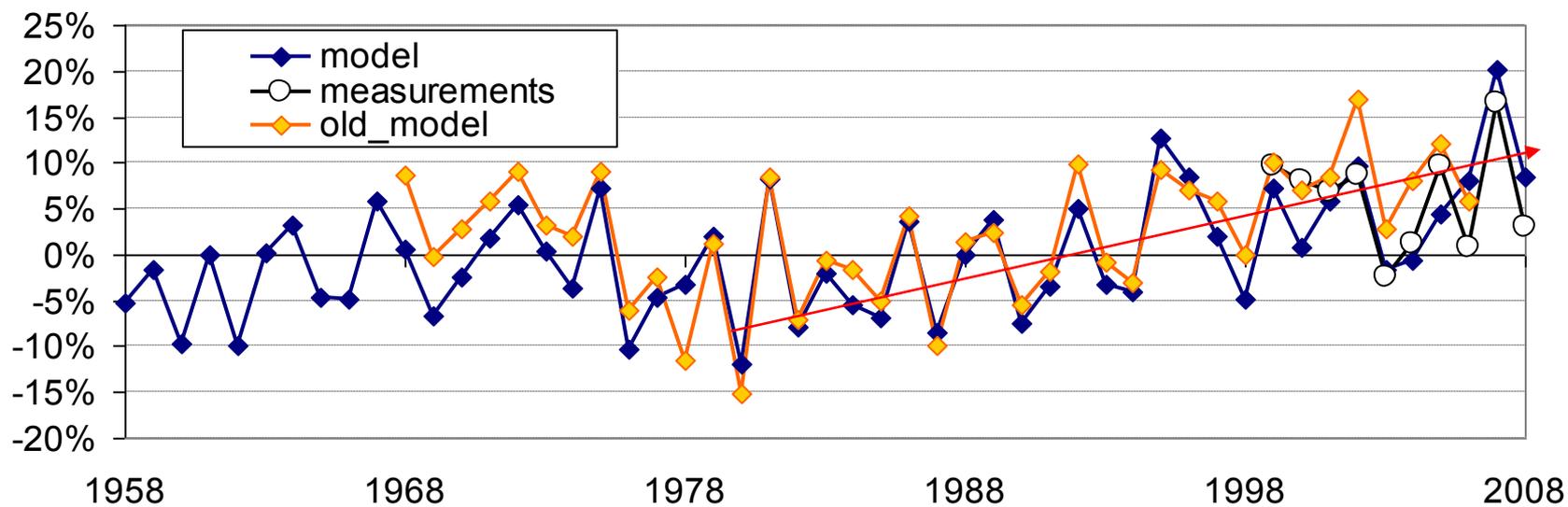


(б). Аномалии в эритемной радиации за счет различных атмосферных факторов: облачного эффективного пропускания  $A(N_{eff})$ , общего содержания озона  $A(X)$ , аэрозольной оптической толщины  $A(t_{aer})$ , оптической толщины облаков  $A(t_{cl})$ . Май-Сентябрь.

# Гибридная модель реконструкции УФР

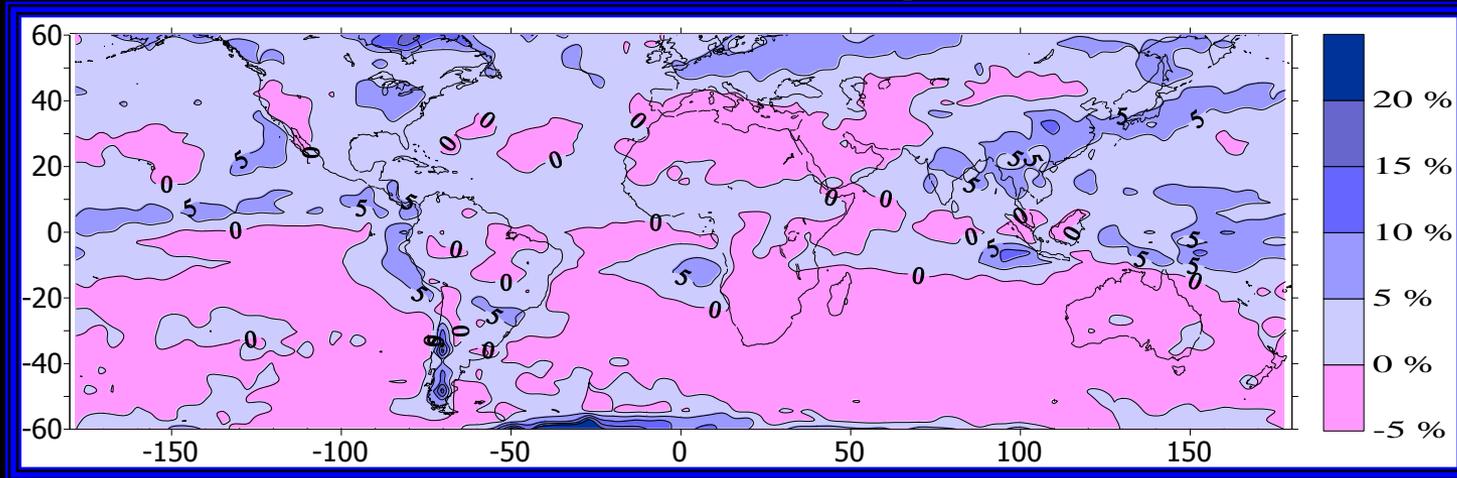


# Вариации УФ радиации по двум моделям реконструкции и результаты измерений с 1999 г. Москва. Теплый период.

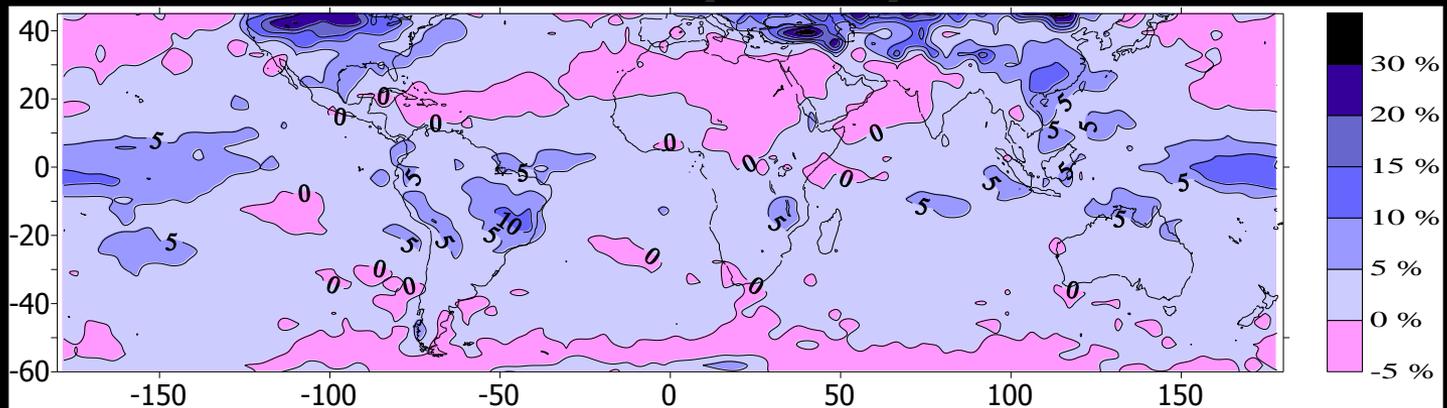




## май-сентябрь



## ноябрь-март



Пространственное распределение разницы вариаций  $Q_9$  за счет облачного и озонного факторов ( $V_{cl} - V_x$ , %) для сравнения их воздействия на эритемную радиацию. Данные TOMS.

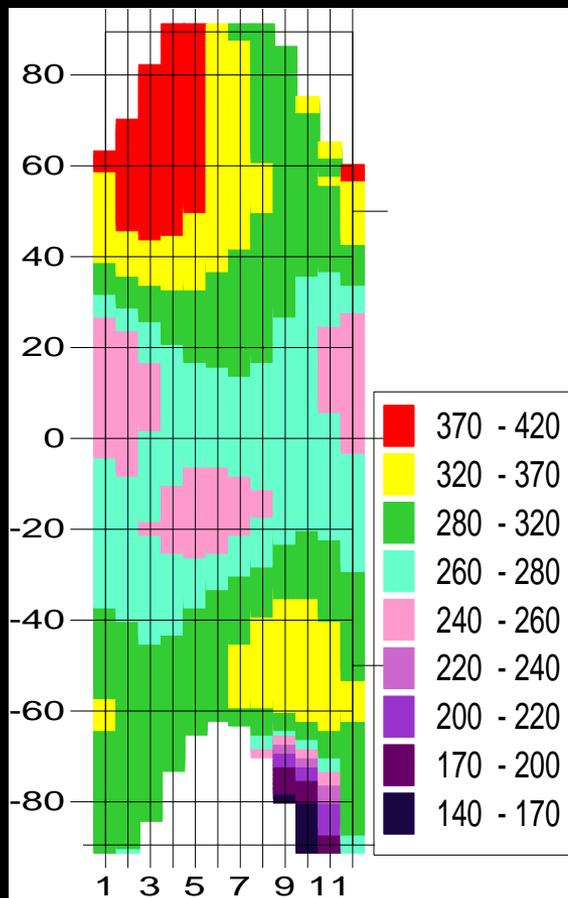
# Пространственное распределение УФР у поверхности Земли

- **Астрономические параметры** (высота Солнца, расстояние между Землей и Солнцем)
- **Высота над уровнем моря**
- **Озон** (данные TOMS по озону за 1979-2003 гг.)
- **Аэрозоль** (данные наземной сети AERONET за 1994-2005 г.),
- **Альbedo поверхности** (учет данных Атласа снежно-ледовых ресурсов, спутниковых измерений, высоты снеговой линии)
- **Облачность** (данные TOMS по отражательной способности на 331нм с дополнительной модельной коррекцией).

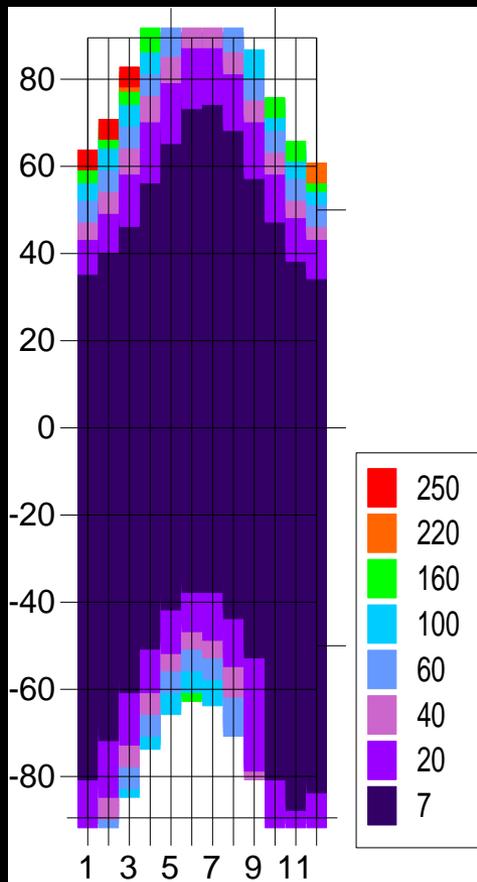
# Распределение зонально-осредненного содержания озона и ослабление УФ радиации области В и области А в земной атмосфере в зависимости от месяца года и широты.

ясное небо

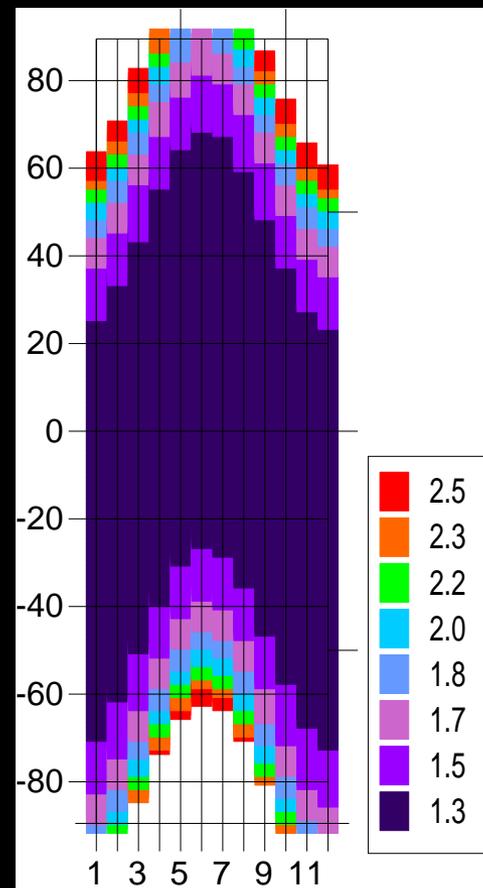
## Озон, матм.см.



## Ослабление УФ-В

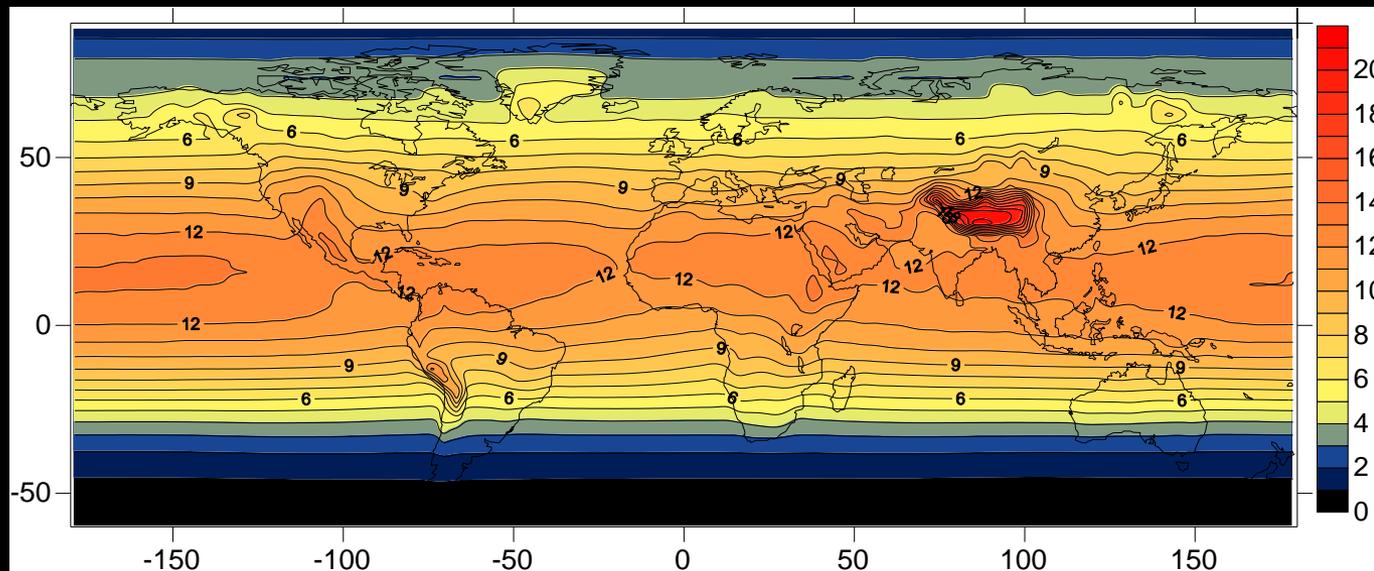


## Ослабление УФ-А

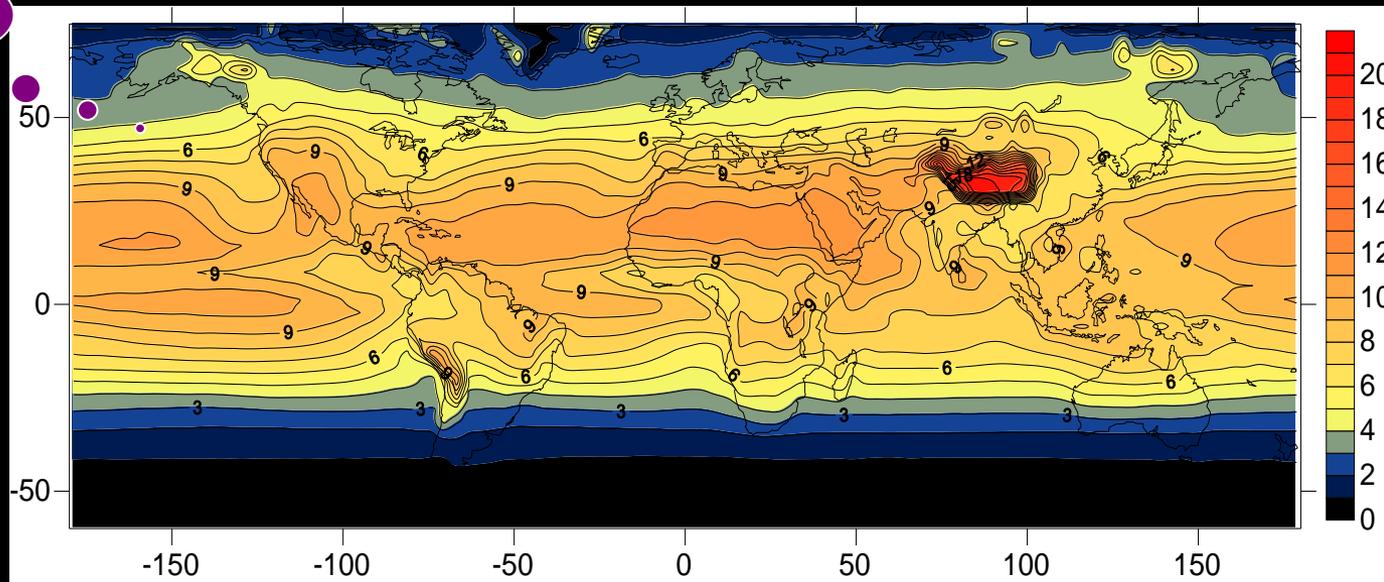


# Пространственное распределение полуденных значений УФ индексов. Июль.

ясное  
небо



облачные  
условия :



# Определение УФ ресурсов

Поскольку действие УФ радиации может оказывать положительный и отрицательный эффект, то необходимо было выявить количественные диапазоны УФР, когда уровень УФР оптимален. На данный момент мы учитываем только действие УФ через кожу: формирование витамина D и возникновение эритемы (приводящей к раку кожи).

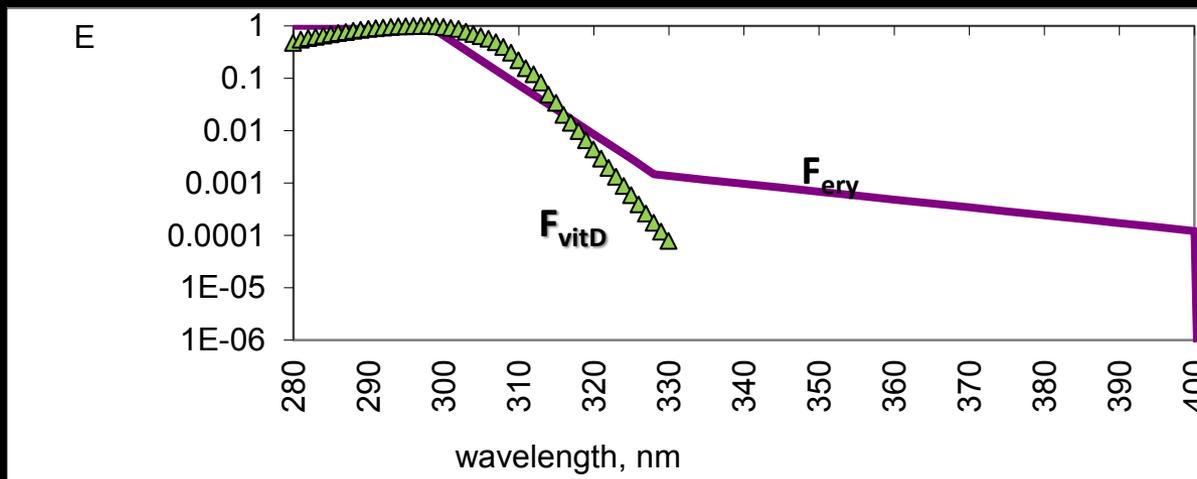
$$MED = \int_0^{t_{MED}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{\lambda} F_{ery\lambda} d\lambda dt$$

$$MVitDD = \int_0^{t_{MVitDD}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{Q_{\lambda} F_{VitD\lambda}}{S} d\lambda dt$$

# Типы кожи по классификации Фицпатрика и минимальные эритемные дозы:

Тип кожи	MED ( $\text{Jm}^{-2} \text{ eff}$ )
I, Caucasian	200
II. Caucasian	250
III. Dark Caucasian	350
IV. Mediterranean, Asian	450
V. Mid-eastern	600
VI. African	1000

# Кривая спектрального действия витамина D и кривая эритемного действия:



Разная чувствительность  $Q_{bio}$  к разным атмосферным параметрам:

$$Q_{bio} = P^{RAF_p}$$

Параметр	$Q_{ery}$	$Q_{vitD}$
RAF hsun	~2	~2.5
RAF ozone	~-0.8 - -1.2	~-1.4 - -2.3

# Проблемы:

1. Неопределенности кривой действия витамина D (Norval, Bjorn, de Gruijl, 2010):
  - *Экстраполяции в очень важной области 315 - 330 нм.*
  - *Грубое разрешение первичных данных (1982) (6-10 нм).*
  - *Новые измерения показывают более низкую эффективность длин волн в диапазоне 300-315 нм.*
2. Пороги для образования витамина D изучены очень плохо. Мало экспериментальных данных. Обычно используется величина от уровня эритемной радиации.
3. Неясно, на каких масштабах можно применять второй закон фотохимии - закон взаимности (закон Busken –Roscoe ).  
(время- плотность потока излучения)

# Определение порога витамина D

Согласно CIE 2006:

“400 IU vitamin D3 would require one fifth MED for a one fifth body area ( face, hands, forearms)”

Here 400 IU is the UK current recommended daily intake (changing from 200 to 600 in different countries).

Мы используем согласно более поздним медицинским данным более жесткий уровень **600 IU** как порог образования витамина D.

**Одна минимально эритемная доза может быть приравнена 10000 IU, поэтому порог рассчитывается как:**

$$MvitDD_j = MED_j \frac{600}{10000} \frac{1}{S}$$

# Классификация УФ ресурсов

$M_{vitDD} > \Sigma Q \rightarrow$  УФ дефицит

$M_{vitDD} < \Sigma Q < MED \rightarrow$  УФ оптимум

$MED < \Sigma Q \rightarrow$  УФ избыточность

## Некоторые дополнительные черты:

1. Интервал 1 час используется как предел образования витамина D в околополуденных условиях для соблюдения закона взаимности.
2. 100% УФ дефицит оценивается, когда невозможно образование витамина D в течение всего светового дня.
3. Учитывается сезонный ход открытости человеческого тела для оценки порога витамина D.

# Открытость тела $S$ как функция эффективной температуры:

$$S = 0.141 \exp(0.041 t_{eff})$$

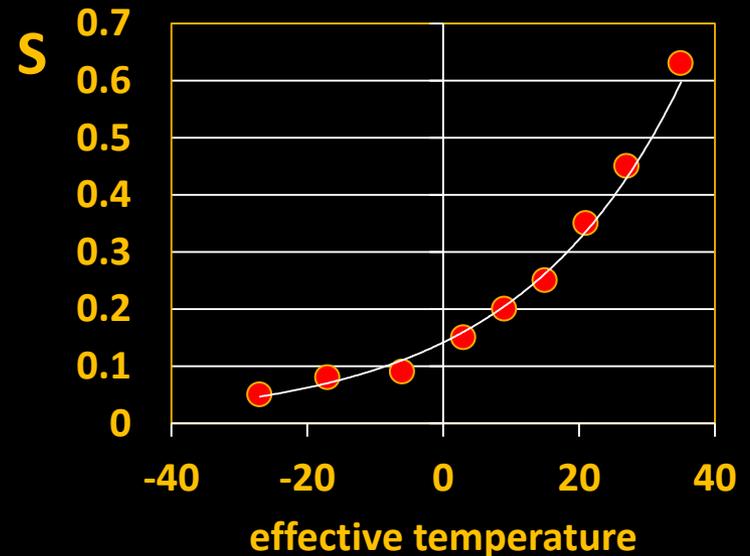
$$R^2 = 0.98$$

где  $t_{eff}$  аппроксимируется по:

$$t_{eff} = t + (4.27 V^{0.229} - 10)$$

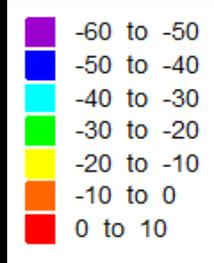
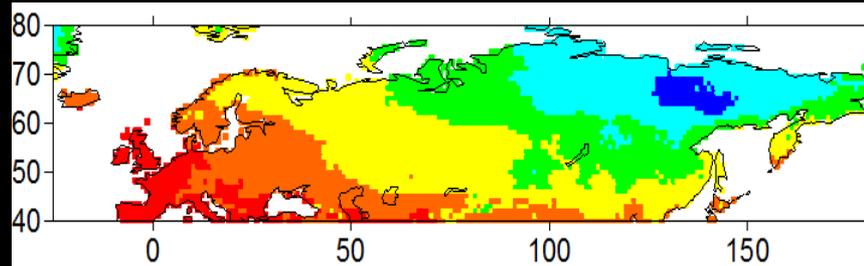
$t$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$

$V$  – скорость ветра  $\text{ms}^{-1}$  для отрицательных температур

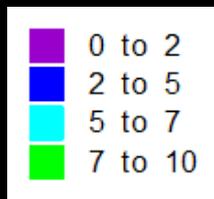
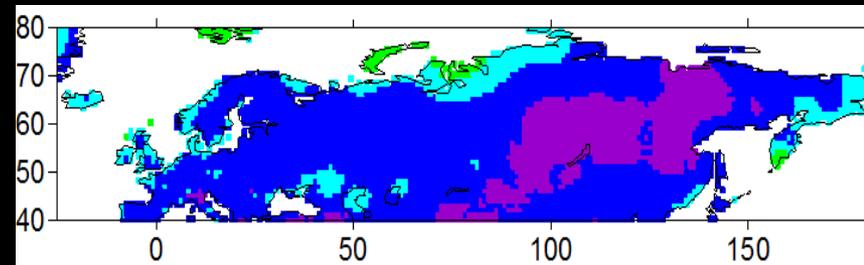


# Пример оценки $S$ . Февраль.

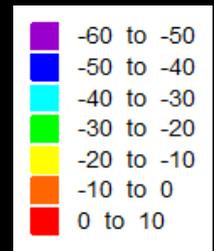
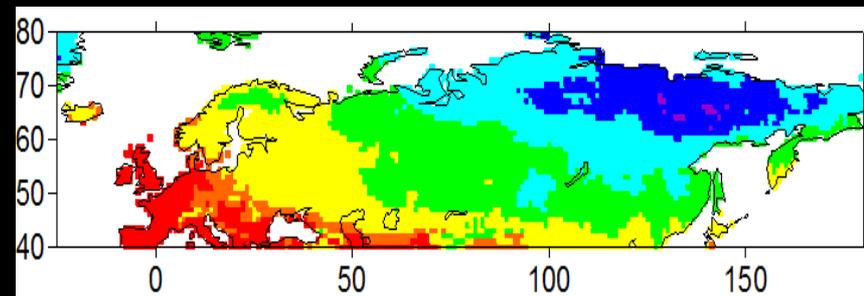
Температура,  $^{\circ}\text{C}$



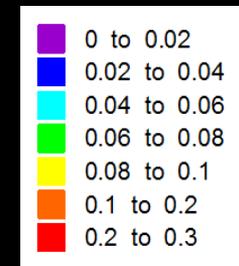
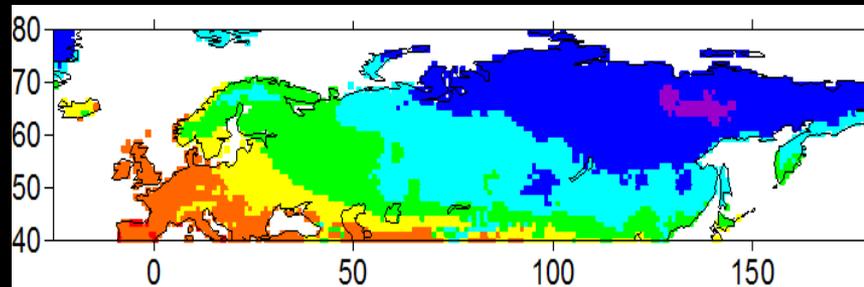
Скорость  
ветра,  $\text{ms}^{-1}$



Эффективная  
температура,  $^{\circ}\text{C}$

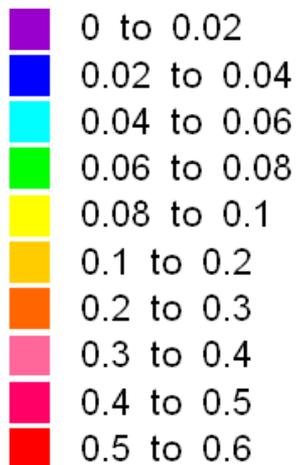


Открытость  
тела  $S$

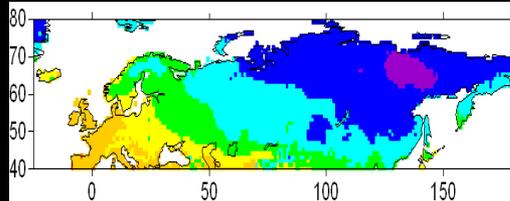


# Открытость тела S

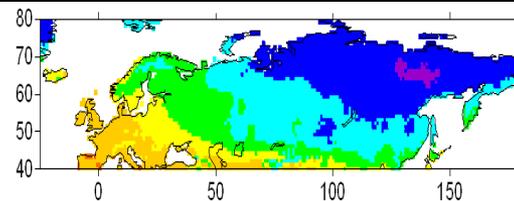
## Legend:



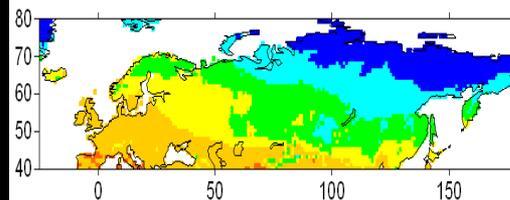
Jan



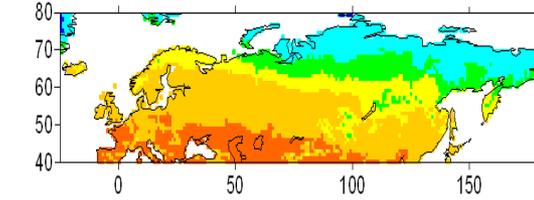
Feb



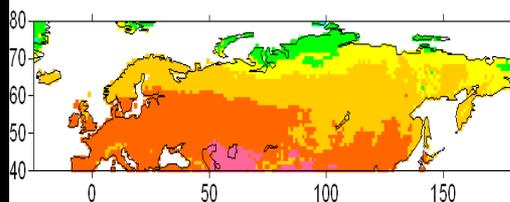
Mar



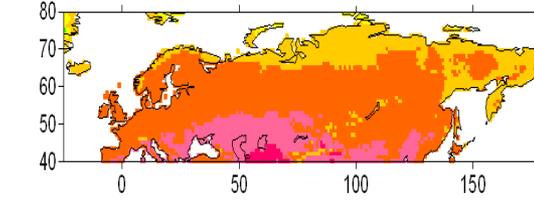
April



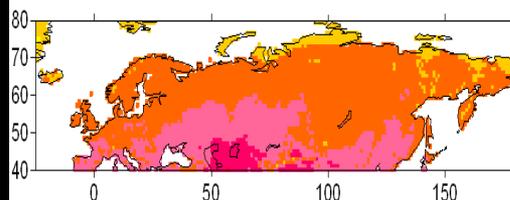
May



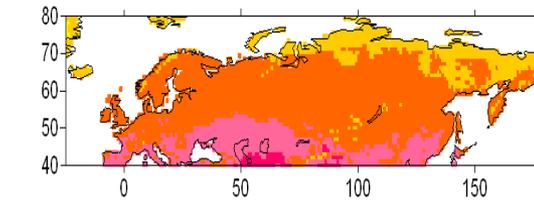
Jun



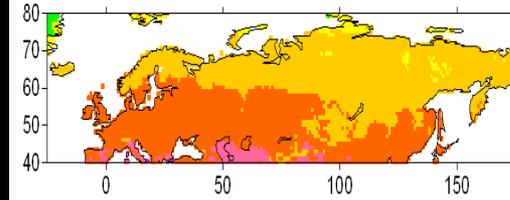
Jul



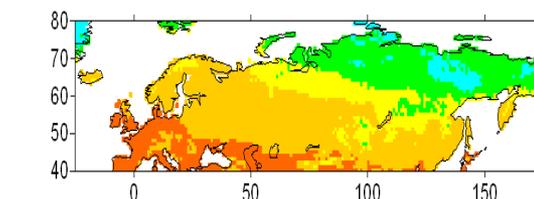
Aug



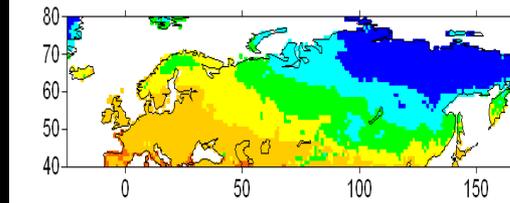
Sep



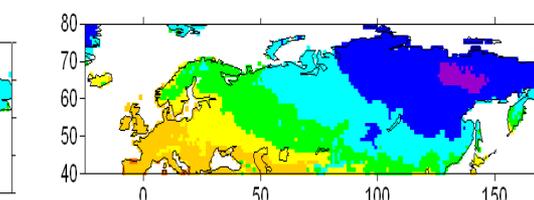
Oct



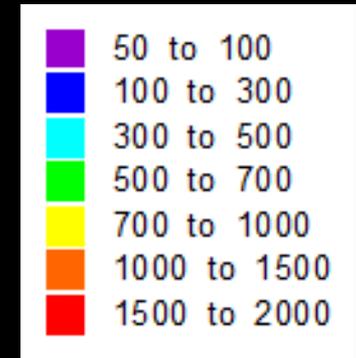
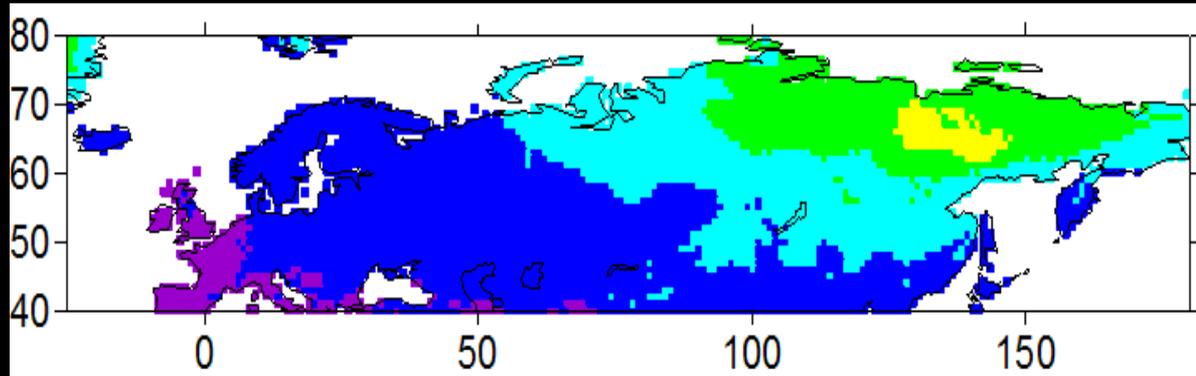
Nov



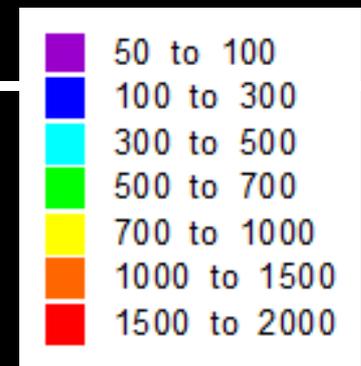
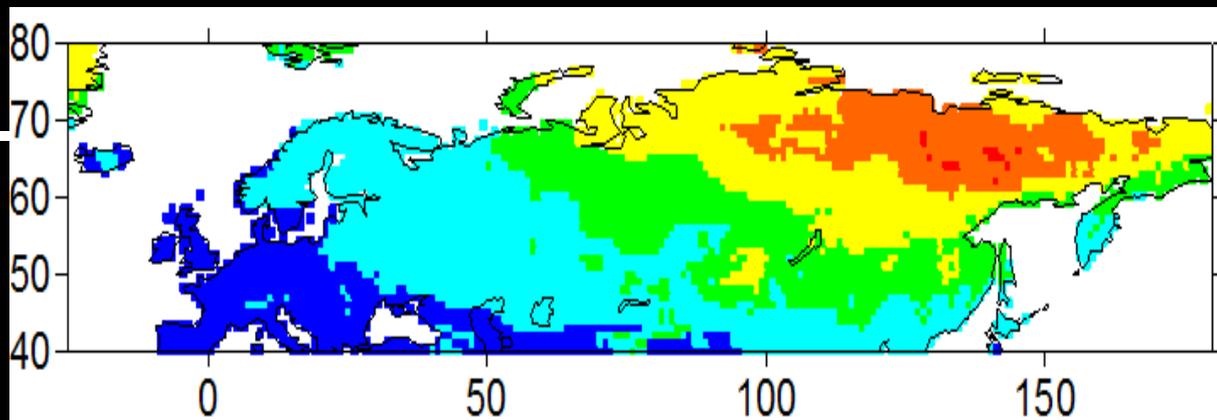
Dec



Пороговые значения образования витамина D с учетом  $S$ ,  $Jm^{-2}_{eff}$ , Тип кожи 2. Февраль.



Пороговые значения образования витамина D с учетом  $S$ ,  $Jm^{-2}_{eff}$ , Тип кожи 4. Февраль.



# Схема расчета УФ ресурсов:

Геофизические данные  
Разрешение -  $1 \times 1^\circ$   
время - 1 месяц

Озон  
(TOMS-OMI)

Аэрозоль AOT380  
(MODIS-AERONET)

Альbedo  
поверхности  
MTW TOMS LER

Облачное  
пропускание.  
Модифицированный  
алгоритм TOMS

$Q_{clear}$

$$Q_{cloud} = Q_{clear} * CMF$$

Модельные оценки  $Q_{ery}$  (LUT таблицы) по данным точных расчетов методом дискретных ординат в 8 потоковом приближении.

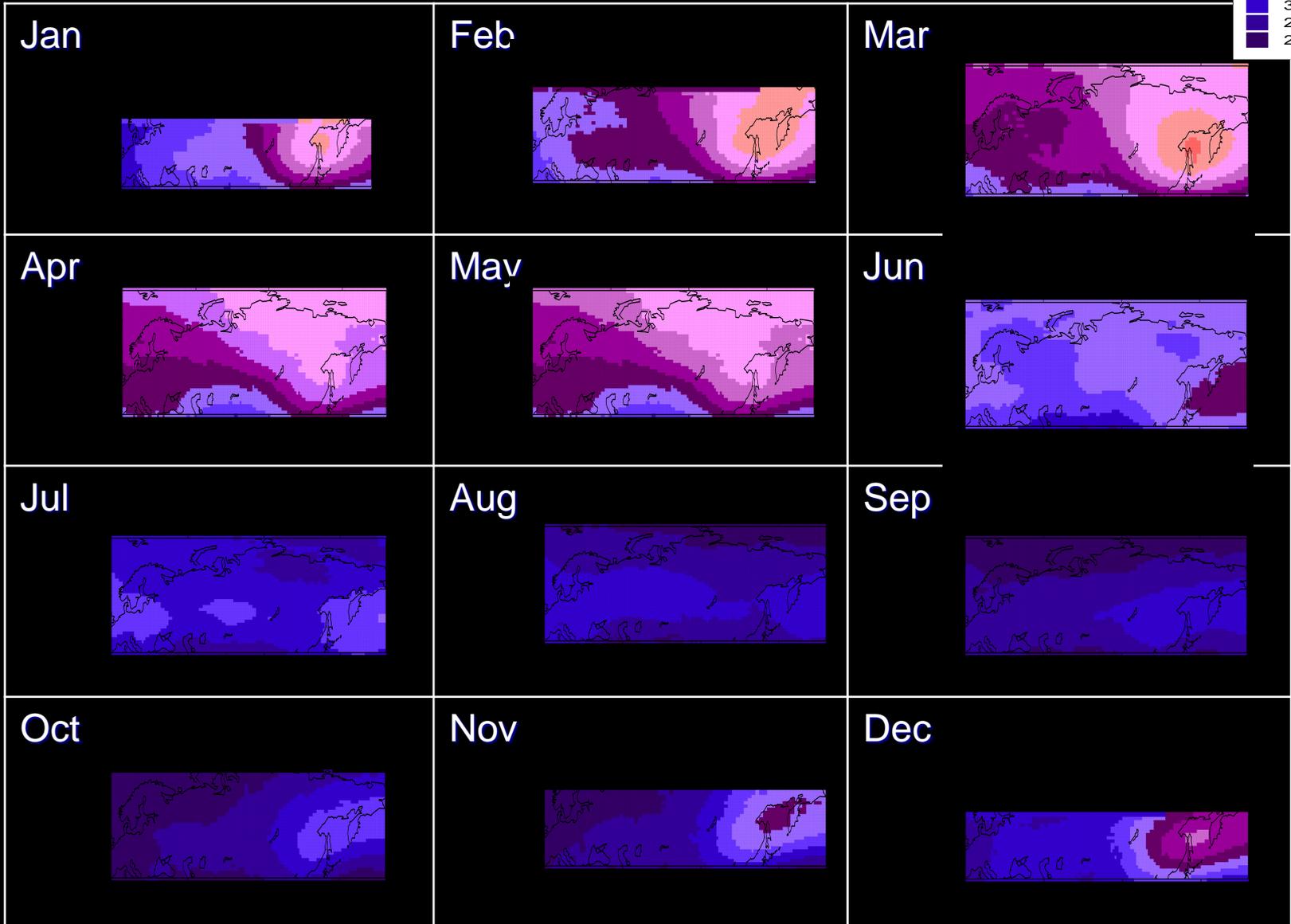
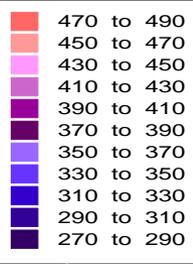
Часовые полуденные средние значения  $Q_{ery}$

Дневные суммы  $Q_{ery}$

Часовые полуденные средние значения  $Q_{ery}$

Дневные суммы  $Q_{ery}$

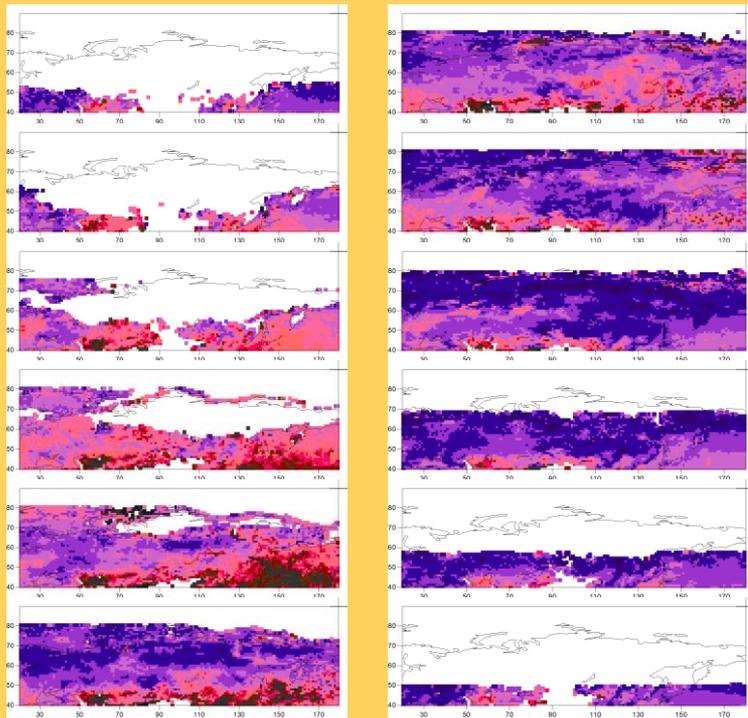
# Общее содержание озона (TOMS/OMI)



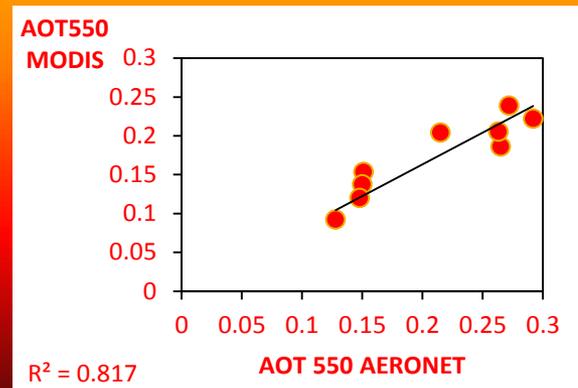
# Аэрозоль :

Новая аэрозольная климатология по данным MODIS-AERONET и российской аэрозольной сети.

## Первичные данные MODIS

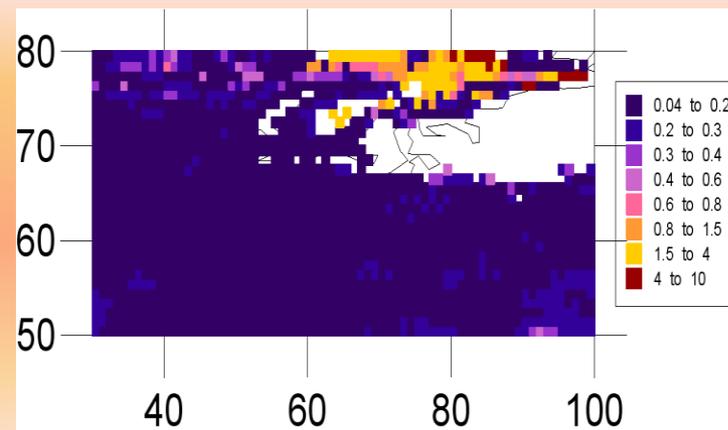


Verification of monthly mean MODIS product, Moscow AERONET MSU MO site:



## Проблемы:

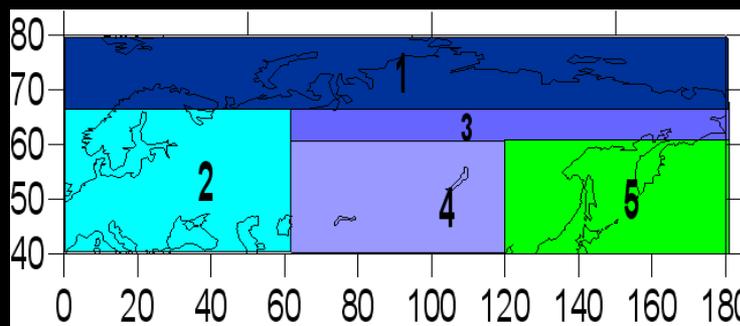
March



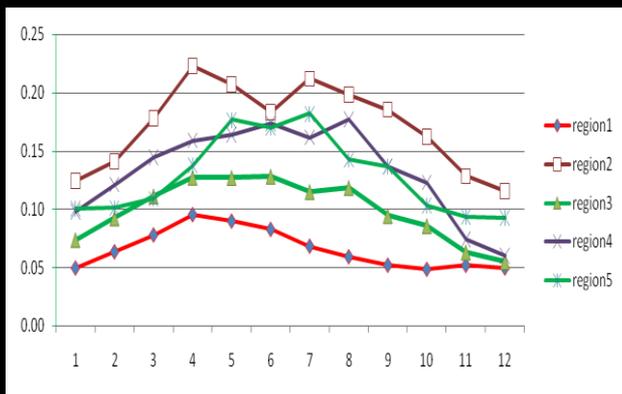
# Дополнительные фильтры, использующиеся для данных MODIS :

- Проверка на пороговые значения максимумов над различными регионами на основании наземных измерений ;
  - Более жесткие условия на альbedo поверхности.
  - Оценки медианных значений AOT и параметра Ангстрема по 5 выбранным районам.

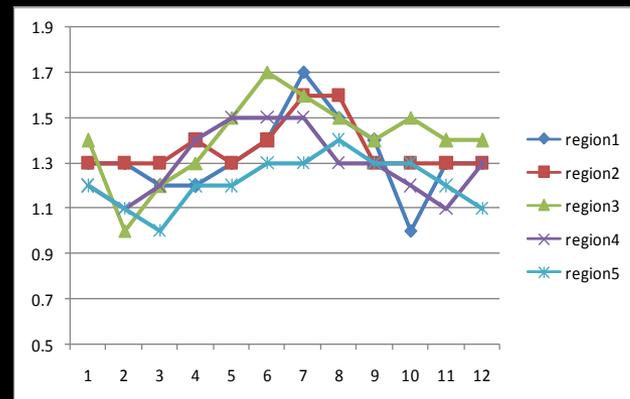
5 районов



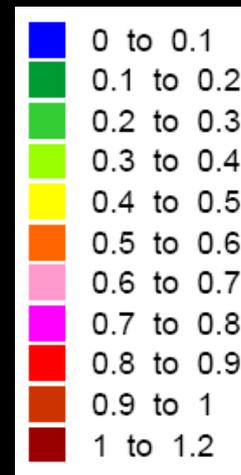
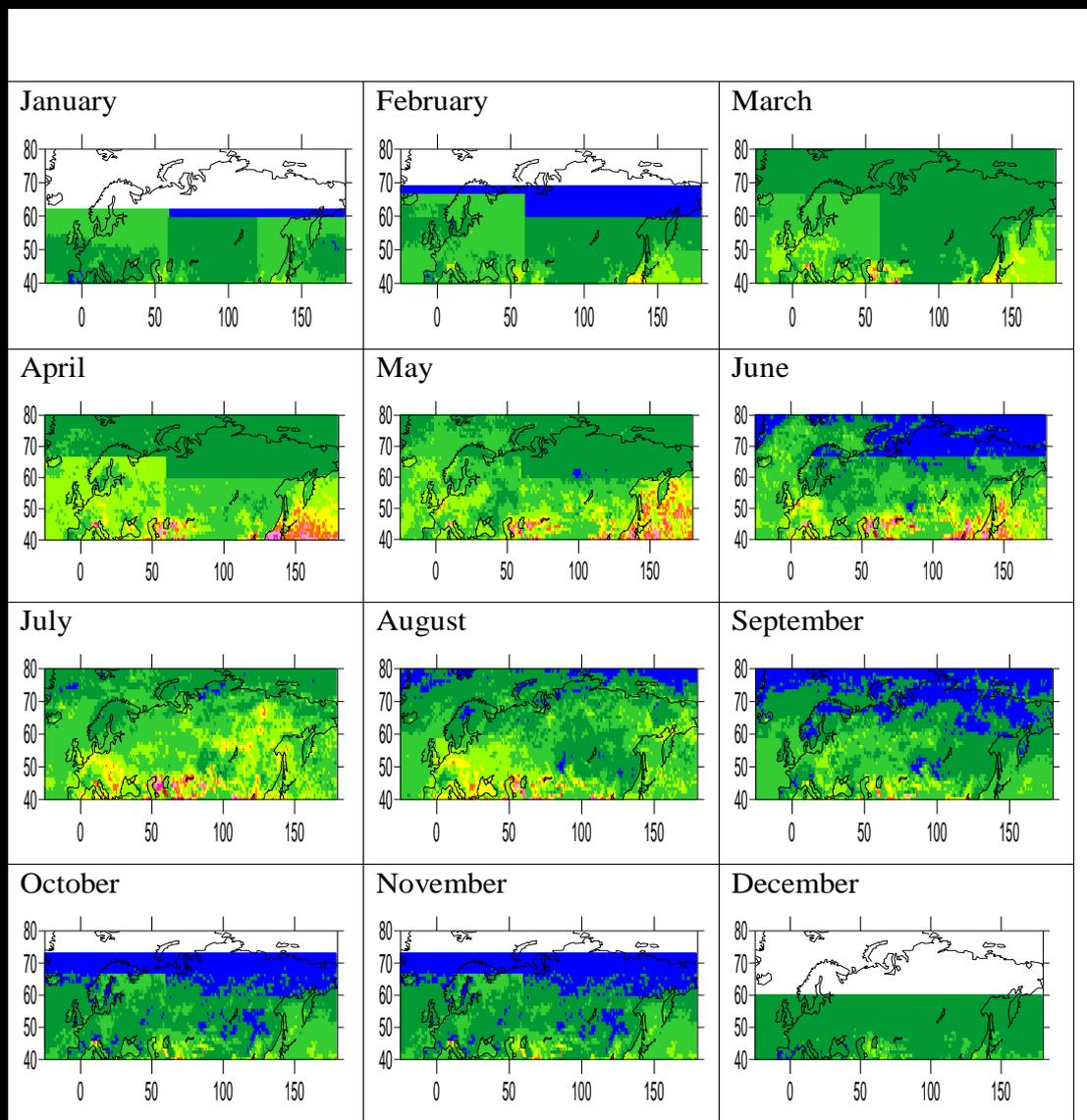
Климатология по AOT:



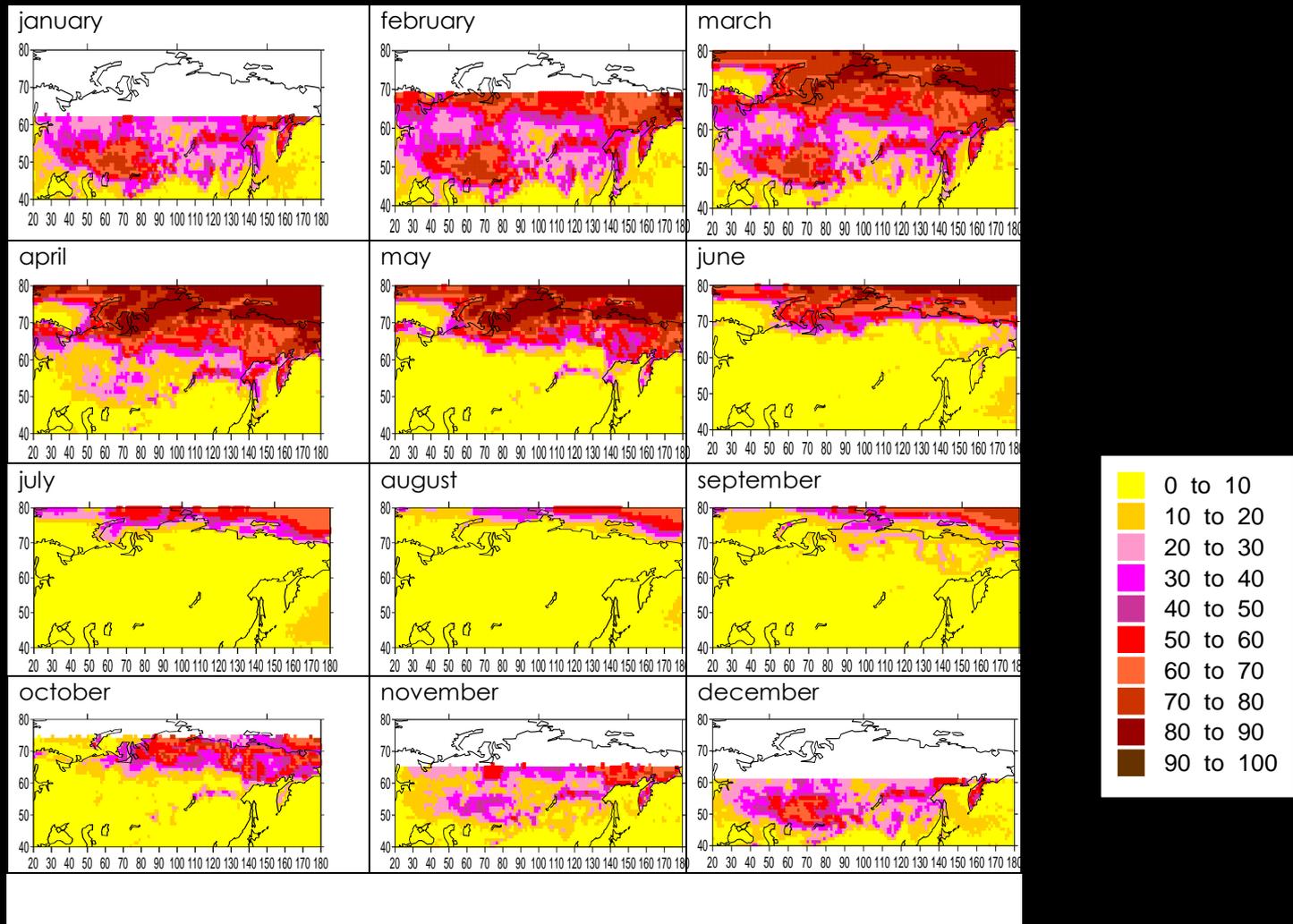
Климатология по параметру Ангстрема



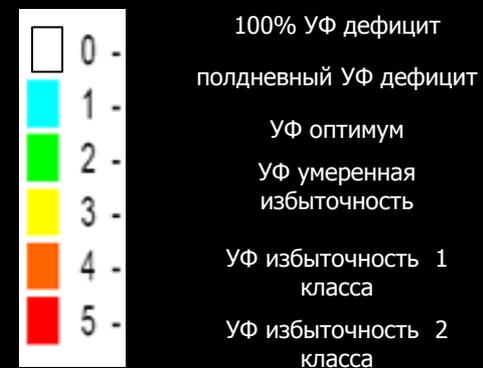
# Результирующие композитные карты распределения АОР на длине волны 380нм .



# Данные по альбедо поверхности определены по MTW методике Tanskanen (2004) по данным TOMS LER.



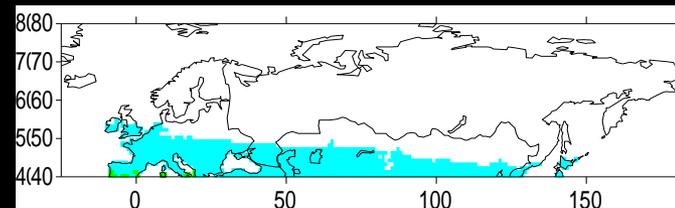
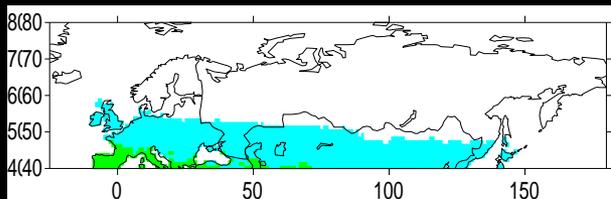
# УФ ресурсы. Ясное небо



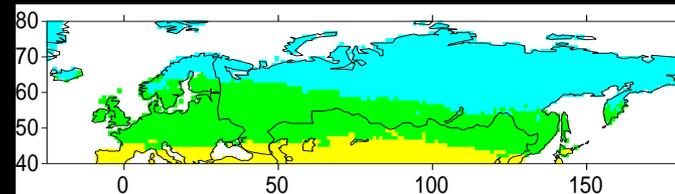
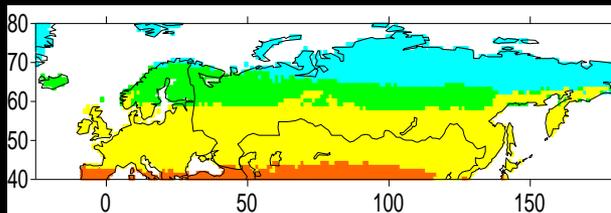
Тип кожи 2

Тип кожи 4

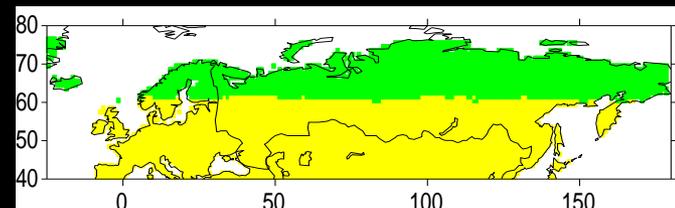
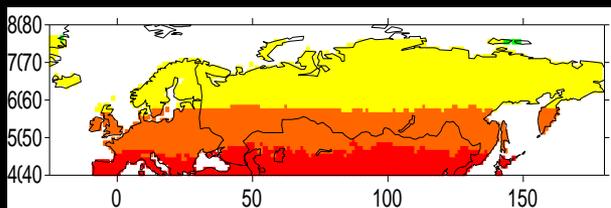
январь



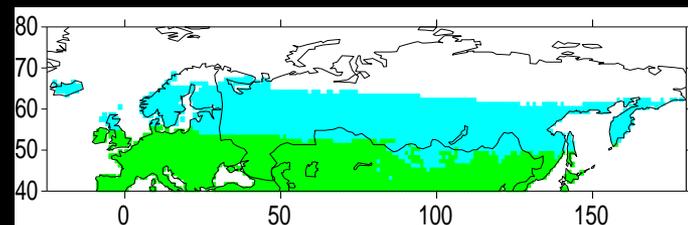
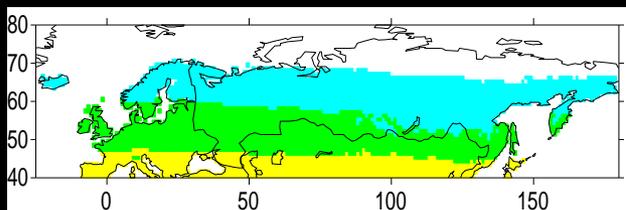
апрель



июль



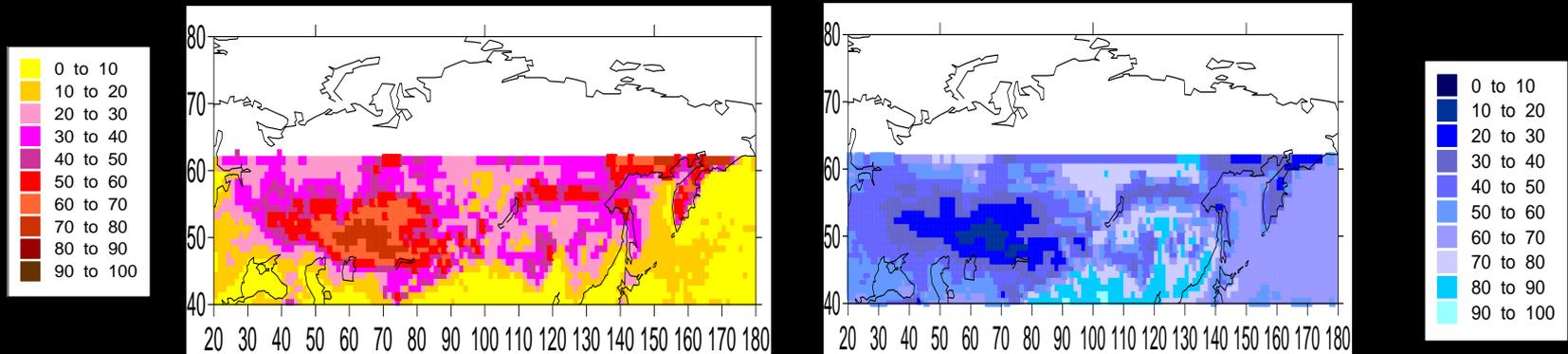
октябрь



# Облачное пропускание:

Предложен новый метод определения  
облачного пропускания по данным TOMS LER.

В старом методе Еск (1995) была проблема  
фактического неучета реального альбеда  
поверхности:



Альbedo поверхности

Облачное пропускание

Январь

Основной принцип нового метода в разделении отражения от поверхности и от слоя облаков с помощью введения дополнительной информации о балле облаков

$$R_{380} = R_{cloud} + R_{surface}$$

$$R_{380} = (1-N) A_s + R_{cloud} N$$

$$CMF = 1 - R_{cloud}$$

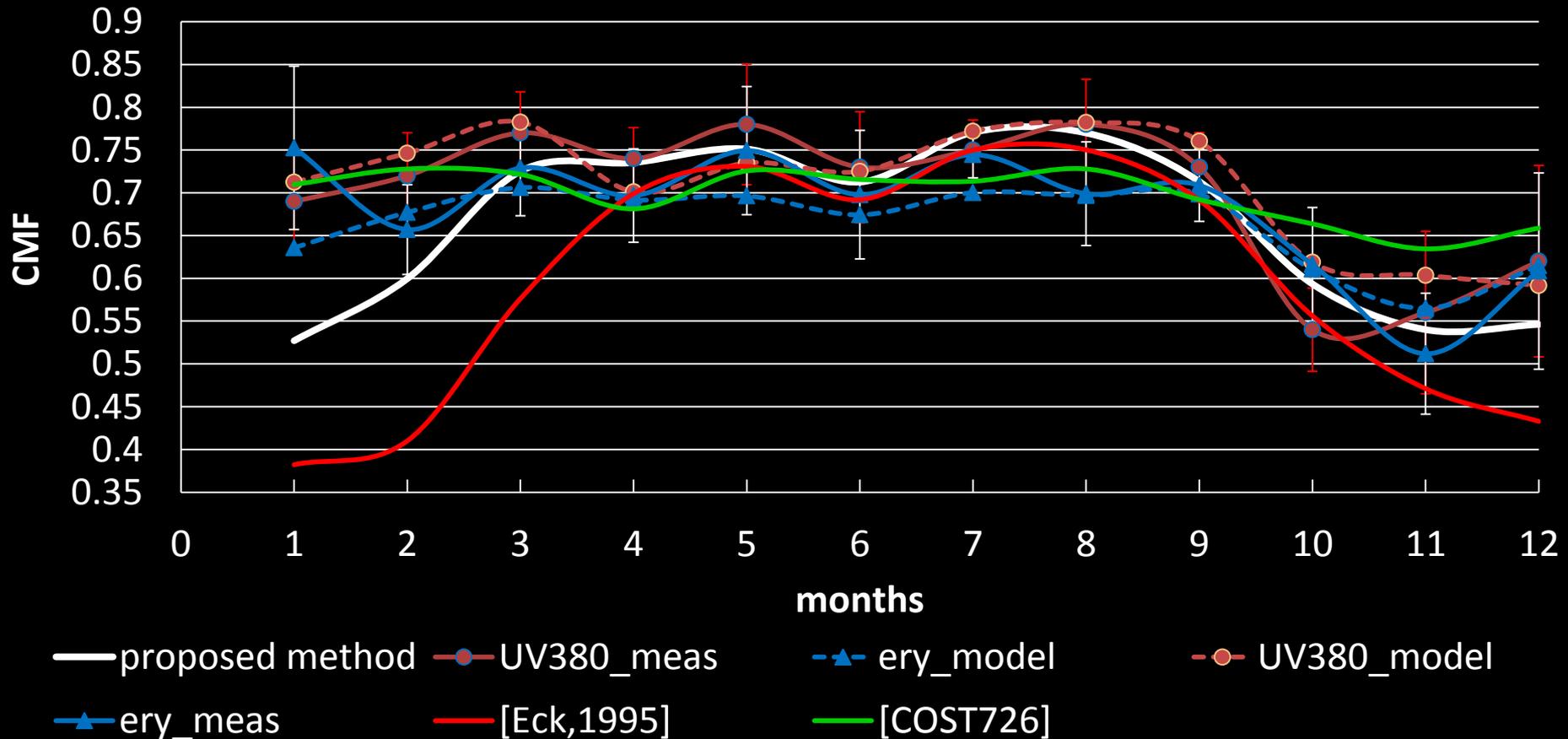
$$CMF = 1 - (R_{380} - (1-N) A_s)$$

$N$  – балл облачности нижнего яруса Era Interim(1979-2002)

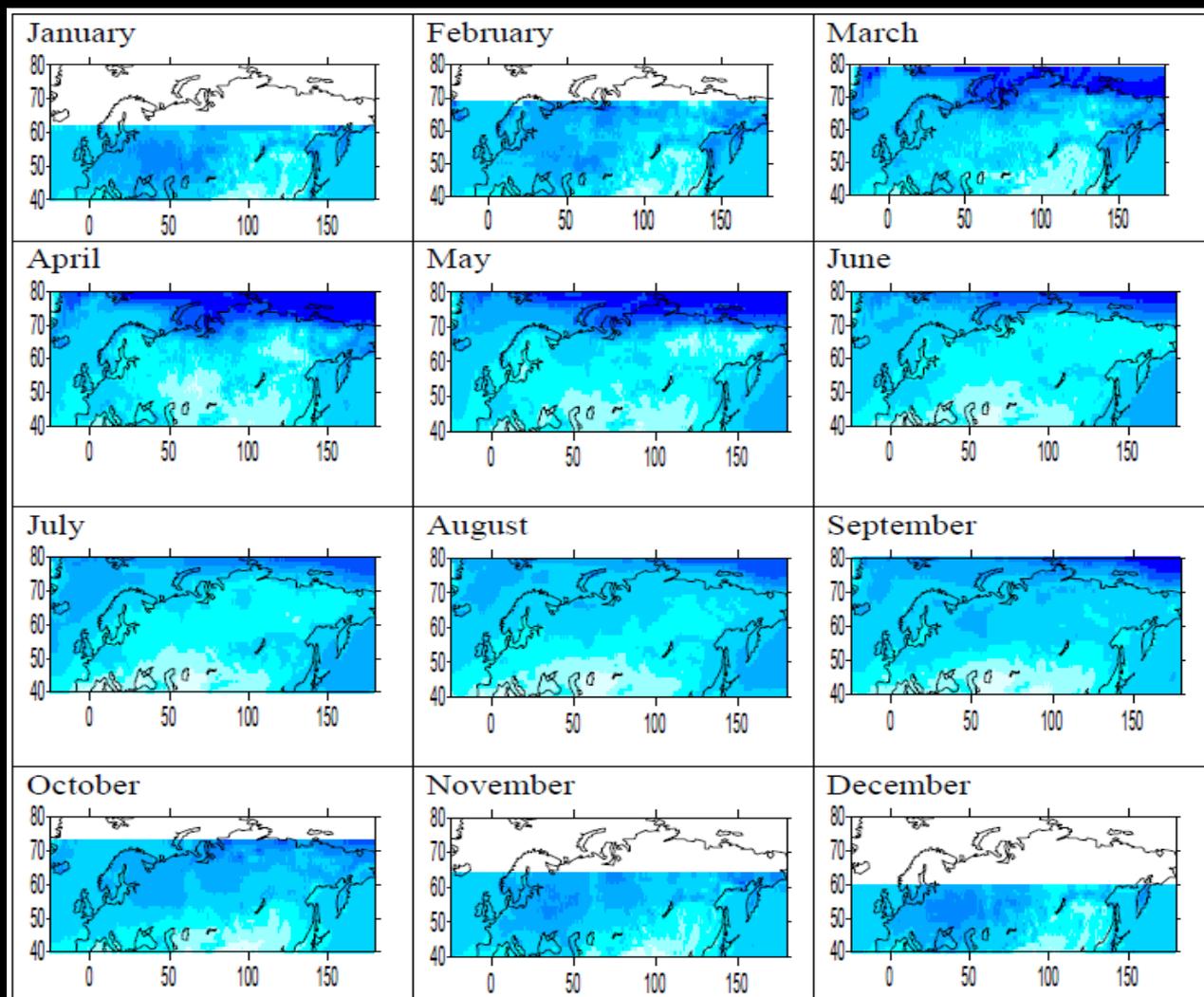
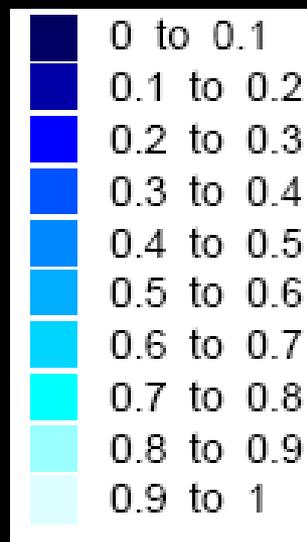
$A_s$  – альbedo поверхности MTW TOMS LER (1979-1992)

$R_{380}$  – TOMS UV Reflectivity (TOMS/OMI)

# Тестирование результатов по данным измерений в Москве



# Облачное пропускание в УФ диапазоне по новому методу:



# УФ ресурсы

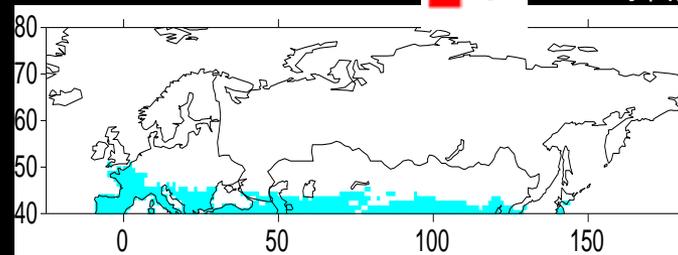
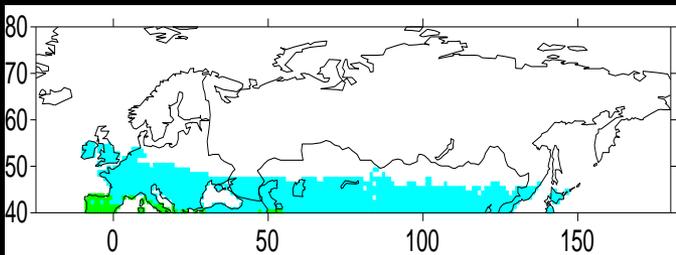
## Облачные условия



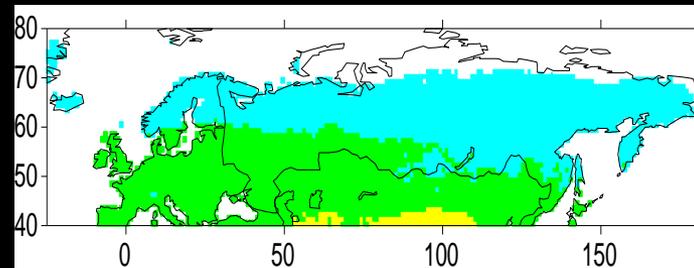
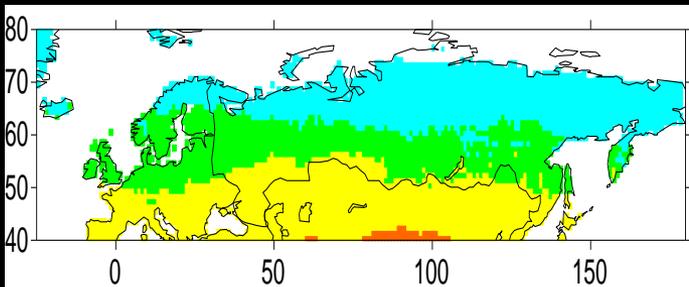
Тип кожи 2

Тип кожи 4

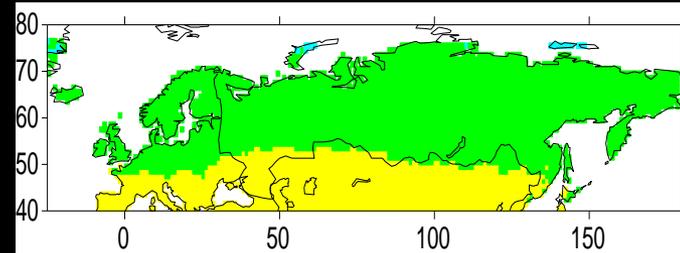
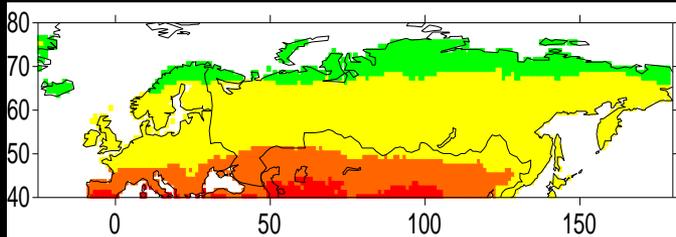
январь



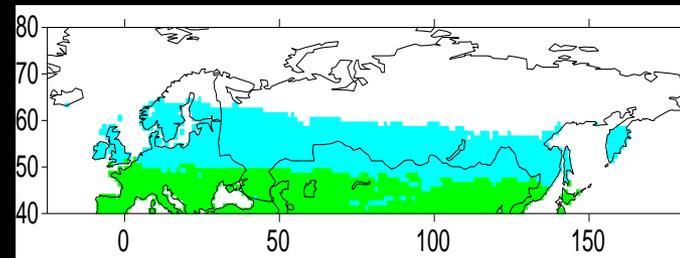
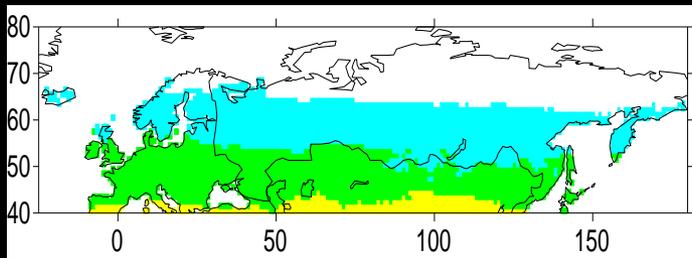
апрель



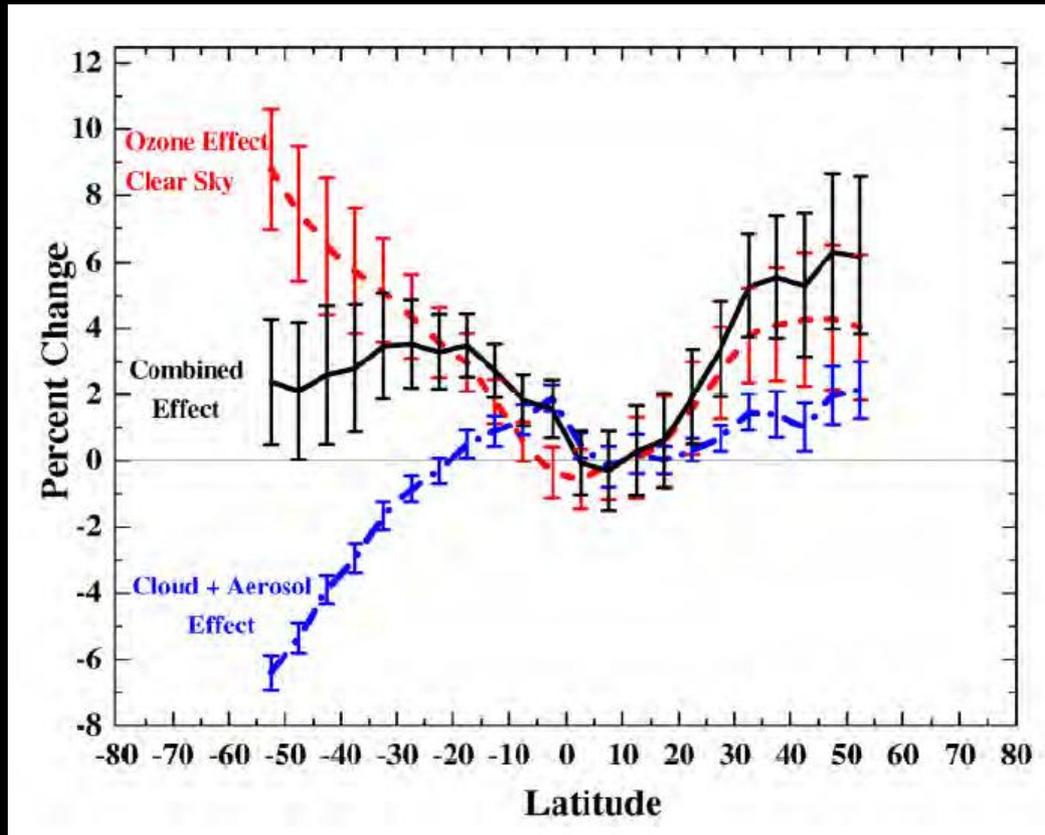
июль



октябрь



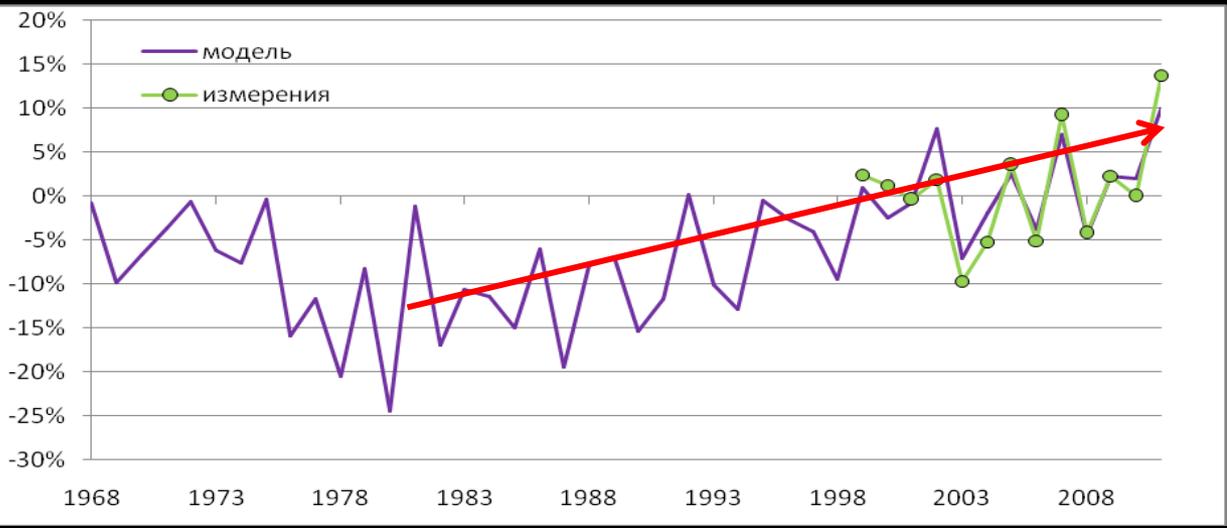
# ТРЕНДЫ УФР



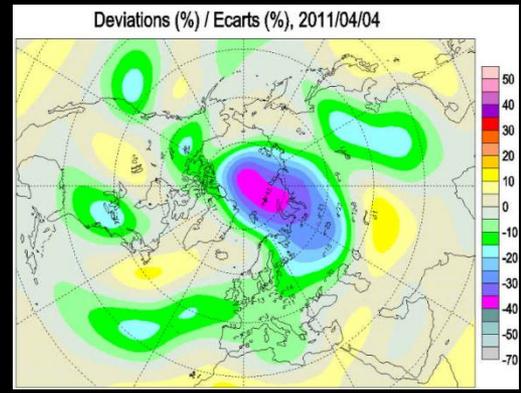
Изменения эритемной радиации как функция широты по спутниковым данным. 1979-2008.

(Herman et al. , 2010)

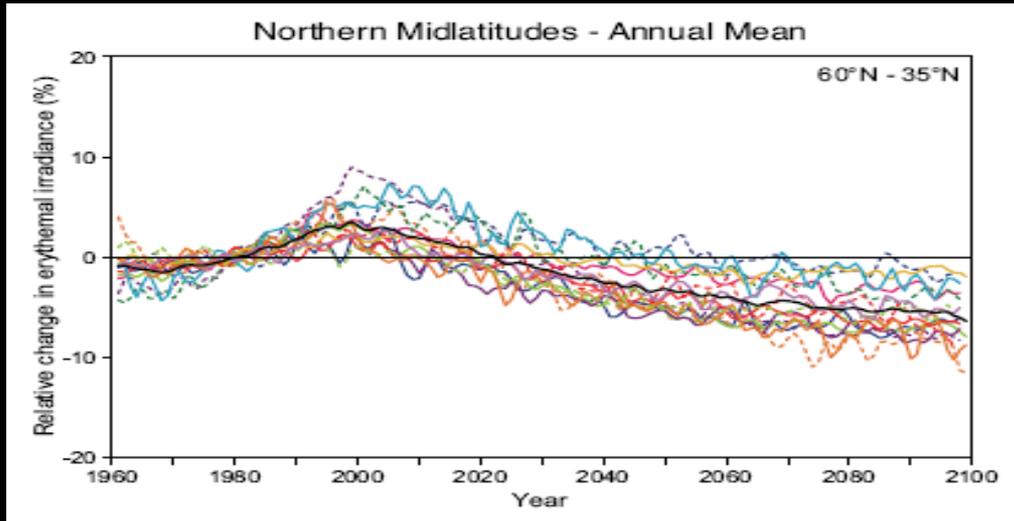
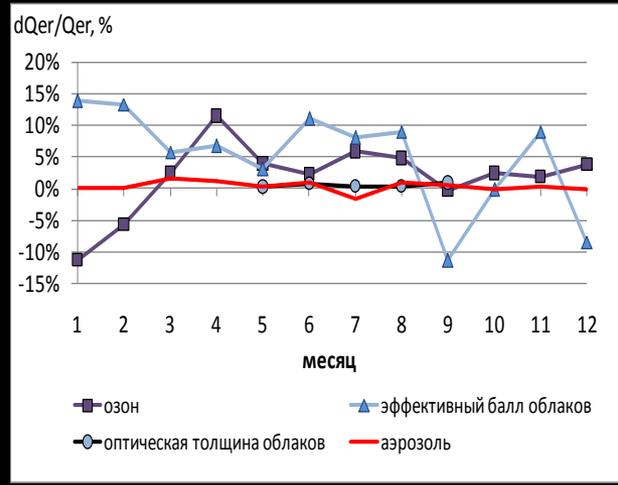
# Многолетняя изменчивость эритемной радиации по данным измерений и модели реконструкции . Москва.



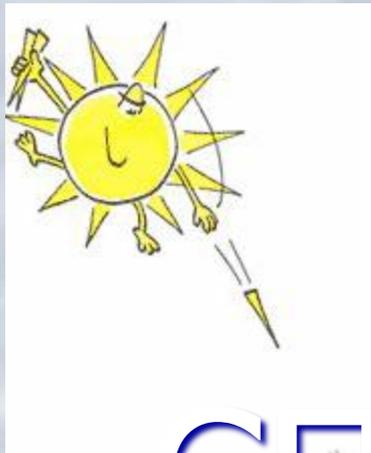
+6% в декаду с 1980



[www.theozonehole.com/arctic2001loss.htm](http://www.theozonehole.com/arctic2001loss.htm)



*Ozone Assessment 2010. The results of 15 CCM models.*



СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ !